VISIT…

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРЕЛКОВО-ПУШЕЧНОГО И АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ОРУЖИЯ

ДЛЯ ВУЗОВ

А.Г. Туктанов

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРЕЛКОВО-ПУШЕЧНОГО И АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ОРУЖИЯ

МАШИНОСТРОЕНИЕ

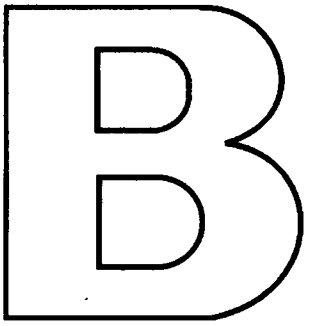
ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРЕЛКОВО-ПУШЕЧНОГО И АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ОРУЖИЯ

Посвящается 175-летию МГТУ (МВТУ) им. Н.Э. Баумана

A. Tuktanov

PRODUCTION PROCESS OF SMALL ARMS, GUNNERY AND ARTILLERY WEAPONS

MOSCOW
«MASHINOSTROENIE»
2007



ДЛЯ ВУЗОВ

А.Г. Туктанов

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРЕЛКОВО-ПУШЕЧНОГО И АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ОРУЖИЯ

Допущено Министерством образования и науки Российской Федерации в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Стрелково-пушечное, артиллерийское и ракетное оружие» направления подготовки дипломированных специалистов «Оружие и системы вооружения»

МОСКВА
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»
2007

УДК 623.4
ББК 68.8
Т81

Рецензенты:
Заведующий кафедрой МТ-8 МГТУ им. Н.Э. Баумана,
д-р техн. наук, профессор *С.А. Герасимов*;
Декан факультета «Оружие и системы вооружения» БГТУ «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, д-р техн. наук, профессор *К.М. Иванов*;
Первый заместитель начальника ГУП КБ Приборостроения,
директор опытного завода, Государственной премии,
премии Правительства РФ, премии им. С.И. Мосина *А.И. Бутенко*

Туктанов А. Г.

Т81 Технология производства стрелково-пушечного и артиллерийского оружия: учебник для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 2007. – 375 с.: ил.

ISBN 5-217-03336-3

В основу учебника положено описание технологических процессов и операций по изготовлению и испытаниям основных командных деталей стрелкового и артиллерийского оружия. Приведены требования к деталям в части материалов, точности их изготовления. Даны описания наиболее важных станков, чертежи специальных инструментов и приспособлений для основных операций технологических процессов изготовления и контроля, а также режимы выполнения операций, проведен анализ затрат времени на эти процессы.

Учебник предназначен для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Стрелково-пушечное, артиллерийское и ракетное оружие" направления подготовки дипломированных специалистов "Оружие и системы вооружения".

УДК 623.4
ББК 68.8

ISBN 5-217-03336-3 © Издательство "Машиностроение", 2007

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, опубликованных в данной книге, допускаются только с разрешения издательства и со ссылкой на источник информации.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение..... 11
Глава 1. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО СТРЕЛКОВОГО И ПУШЕЧНОГО ОРУЖИЯ..... 13
1.1. Технология производства ствольных труб..... 13
1.1.1. Заготовки для труб стрелково-пушечного автоматического оружия..... 13
1.1.2. Образование канала в заготовке..... 16
1.1.2.1. Сплошное сверление 16
1.1.2.2. Получистовое и чистовое развертывание каналов 25
1.1.2.3. Хонингование каналов..... 28
1.1.2.4. Протягивание каналов..... 30
1.1.2.5. Термообработка заготовок ствольных труб..... 32
1.1.2.6. Радиальная ковка ствольных труб..... 33
1.2. Изготовление нарезов..... 38
1.2.1. Обработка нарезов шпалером..... 38
1.2.2. Дорнование (дорнирование) каналов..... 40
1.2.3. Электрохимическое нарезание каналов 43
1.2.3.1. Технология обработки канала «по гладкому»..... 46
1.2.3.2. Технология электрохимической обработки нарезного канала..... 48
1.2.4. Протягивание нарезов..... 50
1.3. Изготовление патронников..... 51
1.4. Свинцевание канала..... 54
1.5. Хромирование канала и патронника..... 55
1.6. Контроль канала и патронника..... 56
1.6.1. Контроль диаметра канала..... 56
1.6.2. Контроль цилиндричности канала..... 57
1.6.3. Контроль прямолинейности канала 58
1.6.4. Измерение разностенности трубы..... 61
1.6.5. Контроль шероховатости..... 62
1.6.6. Контроль размеров и крутизны нарезов..... 62
1.6.7. Контроль размеров и шероховатости патронника... 63

1.7. Правка ствольных труб..... 64
1.8. Наружная обработка заготовок труб..... 66
1.9. Затвор..... 68
1.10. Колодка мушки, газовая камора, колодка прицела..... 74
1.11. Пружины стрелково-пушечных машин..... 84
1.11.1.Винтовые пружины, намотанные из проволоки..... 85
1.11.2. Буферные пружины..... 89
1.12. Сборка изделий..... 90
1.12.1. Классификация типов соединения деталей при сборке..... 92
1.12.2. Этапы организации процесса сборки 93
1.12.2.1. Разбивка изделий на сборочные единицы..... 93
1.12.2.2. Размер собираемой партии 94
1.12.2.3. Технологическая схема сборки..... 95
1.12.2.4. Разработка технологического процесса сборки..... 96
1.12.2.5.Нормирование сборочных работ..... 97
1.12.3. Организация сборки автоматических пушек и стрелкового автоматического оружия 98
1.13. Испытания изделий 101
1.13.1. Приемосдаточные испытания 102
1.13.2. Периодические испытания 103
1.13.3. Типовые испытания 103
1.13.4. Испытание готовых стволов патронами с высоким давлением..... 104
1.13.5. Испытание собранных автоматов на прочность..... 104
1.13.6. Приведение к нормальному бою..... 104
1.13.7. Проверка надежности действия механизмов стрельбой..... 105
1.13.8. Проверка на взаимозаменяемость..... 106
1.13.9. Испытание большим числом выстрелов на живучесть и надежность..... 106
1.13.10. Испытания автоматических пушек..... 108
1.13.11. Проверка лакового покрытия..... 112

Глава 2. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СТВОЛЬНЫХ ТРУБ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ ПУШЕЧНЫХ СИСТЕМ И НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПУШЕК..... 113
2.1. Производство стволных труб артиллерийских пушечных систем..... 113
2.1.1. Стали для стволных труб..... 117
2.2. Методы изготовления заготовок стволных труб..... 123
2.2.1.Центробежно-литые заготовки..... 127
2.2.2. Получение заготовок стволных труб радиальной ковкой..... 132
2.3. Термообработка заготовок 137
2.3.1. Термообработка с нагревом в печах..... 138
2.3.2. Термообработка на установках с нагревом токами промышленной частоты..... 140
2.3.3. Характер напряженного состояния поперечного сечения стволной трубы при закалке 145
2.4. Правка заготовок стволных труб..... 148
2.5. Построение маршрута механической обработки стволных заготовок..... 150
2.6. Сверление..... 156
2.6.1. Схемы сверления каналов в заготовках стволных труб диаметром свыше 50 мм..... 156
2.6.2. Кольцевое сверление глубоких отверстий. Особенности конструкции кольцевых сверл..... 173
2.6.3. Средние значения режимов и затраты времени при сверлении глубоких каналов в заготовках стволных труб..... 177
2.7. Растачивание глубоких каналов 180
2.7.1. Назначение растачивания..... 180
2.7.2. Технические требования, предъявляемые к процессу растачивания..... 180
2.7.3. Схемы растачивания стволных труб..... 183
2.7.4. Инструмент для растачивания стволных труб..... 185
2.7.5. Режимы растачивания, затраты времени..... 196

2.7.6. Подача СОЖ..... 201
2.7.7. Станки для сверления и растачивания ствольных труб 208
2.8. Растачивание пологих конусов в кожухах ствольных труб..... 213
2.9. Растачивание зарядных камор (патронников)..... 215
2.9.1. Формы камор, требования к точности и шероховатости поверхности камор после их растачивания..... 215
2.9.2. Применяемые схемы растачивания камор..... 217
2.9.3. Конструкции плавающих пластин для растачивания камор..... 222
2.9.4. Режимы растачивания камор плавающими пластинами и затраты времени на растачивание..... 226
2.9.5. Станки для растачивания камор ствольных труб..... 229
2.10. Наружная механическая обработка ствольных труб 230
2.10.1. Типовые наружные поверхности ствольных труб. Требования к ним по точности и шероховатости..... 230
2.10.2. Схемы базирования ствольных труб при наружной обработке. Основные применяемые приспособления. Требования к точности базирования..... 234
2.10.3. Станки для основных операций наружной механической обработки ствольных труб..... 239
2.10.4. Основные типы применяемых инструментов и режимы механической обработки наружных поверхностей ствольных труб 246
2.10.5. Затраты времени на основные операции наружной механической обработки ствольных труб 251
2.11. Горячее скрепление ствольных труб 252
2.11.1. Назначение скрепления труб. Типы скрепляемых в настоящее время труб. Основные требования к скрепляемым поверхностям..... 252
2.11.2. Оборудование и режимы скрепления..... 255
2.12. Изготовление нарезов в ствольных трубах 257
2.12.1. Назначение нарезов, требования к ним..... 257
2.12.2. Место операции образования нарезов в технологическом процессе изготовления ствольной трубы. Схемы образования нарезов. Схемы нарезательных станков..... 259

2.12.3. Инструмент для изготовления нарезов..... 264
2.12.4. Режимы нарезания каналов ствольных труб. Применяемые жидкости. Затраты времени на операцию нарезания каналов ствольных труб..... 271
2.13. Чистовая обработка канала и каморы 273
2.13.1. Требования к точности диаметров, шероховатости поверхности каналов стволов. Процессы, применяемые для их чистовой обработки..... 273
2.13.2. Последовательность выполнения чистовых операций обработки канала. Принципы базирования детали и применяемые для этих операций станки..... 275
2.13.3. Конструкции инструментов для чистовой обработки каналов ствольных труб..... 277
2.13.3.1. Раскатывание..... 277
2.13.3.2. Хонингование..... 280
2.13.3.3. Полирование..... 284
2.13.3.4. Местное исправление дефектов в канале..... 284
2.13.4. Режимы чистовых операций обработки каналов ствольных труб и применяемые СОЖ..... 285
2.13.5. Требования к точности и шероховатости камор после чистовых операций. Чистовые операции, применяемые при обработке камор..... 288
2.13.6. Базирование детали, применяемые станки и последовательность выполнения чистовых операций обработки каморы 289
2.13.7. Инструменты, применяемые при чистовой обработке камор..... 293
2.13.8. Режимы чистовой обработки камор и применяемые СОЖ..... 296
2.13.9. Абразивные материалы, применяемые на чистовых операциях обработки канала и каморы..... 297
2.13.10. Затраты времени на чистовые операции обработки канала и каморы 298
2.14. Контроль ствольных труб. Задачи, методы, приборы..... 301
2.14.1. Измерение геометрических характеристик ствольных труб..... 301

2.14.1.1. Проверка диаметра канала по полям и нарезам..... 301
2.14.1.2. Измерение отклонения от прямолинейности канала..... 308
2.14.1.3. Измерение разностенности ствольных труб..... 314
2.14.1.4. Проверка дульного угла..... 320
2.14.1.5. Проверка размеров конусов камор..... 325
2.14.1.6. Проверка соосности канала и каморы..... 327
2.14.1.7. Проверка наружных размеров ствольных труб 329
2.14.2. Оценка шероховатости поверхности канала и каморы..... 330
2.14.3. Схемы проверки ствольных труб на наличие несплошностей и инородных включений..... 334
2.14.3.1. Проверка на магнитных дефектоскопах..... 334
2.14.3.2. Проверка ультразвуковыми дефектоскопами 337
2.15. Казенник..... 340
2.16. Клин..... 350
2.17. Люлька..... 352
2.18. Противооткатные устройства..... 355
2.18.1. Цилиндры..... 355
2.18.2. Штоки и контрштоки..... 357

Глава 3. СБОРКА И ИСПЫТАНИЯ ИЗДЕЛИЙ 359
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 374

ВВЕДЕНИЕ

Производство оборонной техники является необходимым условием обеспечения независимости каждого государства.

От такой техники требуется надежное функционирование при любых условиях эксплуатации. Поэтому при создании оборонной техники большое внимание уделяется как конструкции, так и технологии производства, обеспечивающей выполнение всех (порой весьма непростых) требований конструктора. С этой целью технологами разрабатываются оригинальные процессы получения заготовок и их обработки, создаются специальные станки и инструменты. Помимо обеспечения изготовления высококачественных изделий, от технологов требуют сокращения сроков подготовки к производству новых изделий и обеспечения максимальной экономичности самого процесса производства.

Для успешного создания новой техники необходимо, чтобы конструкторы и технологи работали в тесном контакте друг с другом.

В качестве примеров успешного сотрудничества конструкторов и технологов можно привести работы выдающихся советских конструкторов: Петрова Ф.Ф., Шавырина Б.И., Грабина В.Г.

Василий Гаврилович Грабин ввел в своем КБ жесткий закон обязательного утверждения конструкторских чертежей вновь разрабатываемых изделий ведущими это изделие технологами. В развитие этого закона был создан так называемый метод параллельности разработки артиллерийских систем, когда создаваемые детали новой машины прорабатывались технологами и они разрабатывали технологические процессы изготовления деталей, проектировали приспособления, специальный инструмент, даже специальные станки. И все эти элементы создавались до окончания конструкторских работ.

Такой подход к проектированию и изготовлению пушек позволил заводу за время Великой Отечественной войны выпустить и отправить на фронт сто тысяч надежных изделий. Столько не сделала на всех своих заводах Великобритания.

На постаменте на площади Горьковского машиностроительного завода установлена пушка ЗИС-3, которой посвящены стихи: «Стотысячная, в труде рожденная, в огне испытанная, непобежденная».

Выдающиеся конструкторы Дегтярев В.А., Шпагин Г.С. также работали в содружестве с технологами и создавали конструкции надеж-

ных в бою и простых по устройству и изготовлению пулеметов и автоматов – ДП, ДТ, ДШК, ППШ, которые являются классикой стрелкового оружия.

Вновь создаваемые изделия стрелково-артиллерийской техники наряду с обеспечением тактико-технических свойств должны быть достаточно просты в изготовлении.

Поэтому студенты конструкторских кафедр ВУЗов, ведущих подготовку специалистов по оборонной тематике, должны четко представлять возможность изготовления деталей изделий и их дальнейшее функционирование.

Учебник состоит из двух разделов.

Первый раздел посвящен особенностям изготовления типовых деталей стрелковых систем и систем автоматических пушек малого калибра, и, особенно, самой главной детали – стволу. Здесь рассмотрены вопросы получения заготовок стволов различных калибров, каналов, изготовления нарезов и патронников с необходимыми требованиями. Даны примеры специальных инструментов, разобраны особенности и режимы обработки. Уделено внимание проведению контроля основных характеристик стволов. Приведены примеры испытаний изделий.

Во втором разделе те же вопросы рассматриваются применительно к изделиям среднего калибра. Кроме этого разбираются особенности изготовления наиболее сложных и специфических поверхностей казенников и противооткатов. Изложенные методы обеспечения надежности работы изделий за счет специальных контрольных устройств, а также отстрелом и возкой.

Автор приносит искреннюю благодарность за оказанную методическую и организаторскую помощь при написании учебника:

профессору, д-ру техн. наук Королеву Алексею Александровичу;

доценту, канд. техн. наук Черному Владимиру Григорьевичу,

а также сотрудникам отделов главного технолога:

Ковровского машиностроительного завода им. Дегтярева;

Тульского машиностроительного завода;

Ижевского машиностроительного завода;

Пермского машиностроительного завода «Мотовилиха»;

Волгоградского машиностроительного завода «Баррикады».

Глава 1

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО СТРЕЛКОВОГО И ПУШЕЧНОГО ОРУЖИЯ

1.1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СТВОЛЬНЫХ ТРУБ

Основной деталью стрелково-пушечного автоматического оружия является ствол.

Рассмотрим некоторые главные операции изготовления ствольных труб:

– получение заготовок;
– образование канала;
– изготовление нарезов;
– изготовление патронника;
– хромирование канала и патронника;
– наружную обработку;
– правку.

1.1.1. Заготовки для труб стрелково-пушечного автоматического оружия

В зависимости от калибра могут применяться заготовки из:

– *пруткового проката*, чаще всего с высадкой в казенной части металла для более рационального его использования (рис. 1.1, *а*);

– *поперечно-винтового* проката с приближением к наружному контуру (рис. 1.1, *б*), а для калибров порядка 30 мм и с прошитым иногда в горячем виде каналом;

– *пруткового проката* без высадки с возможностью размещения в его поперечном сечении заготовки под радиальную ковку (рис. 1.1, *в*).

Схемы на рис. 1.1, *а*, *б* применяются для выпуска изделий в условиях крупносерийного и массового производства. Схема на рис. 1.1, *в* предусматривает относительно небольшую программу выпуска изделий.

В качестве материалов ствольных заготовок для стрелковых изделий применяются высококачественные углеродистые стали (сталь 50А, сталь 50РА), а для заготовок труб автоматических пушек – высоколегированные стали типа 30ХНМФА, 30ХН2МФА.

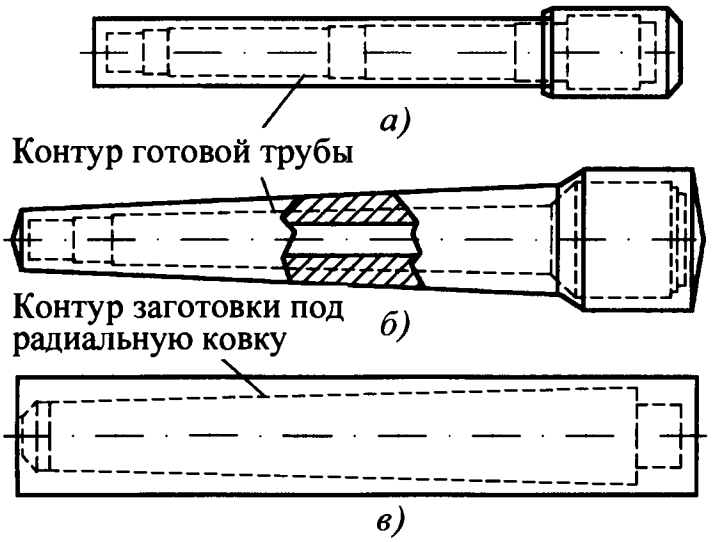


Рис. 1.1. Заготовки ствольных труб малого калибра:
а – прутковый прокат с высадкой в казенной части; *б* – поперечно-винтовой прокат с прошитым каналом; *в* – прутковый прокат без высадки

Химический состав и механические свойства сталей 50РА и 30ХН2МФА даны в табл. 1.1и 1.2.

1.1. Химический состав ствольных сталей

Марка стали	Содержание элементов, % по массе				
	C	Si	Mn	Cr	Ni
50РА	0,47…0,55	0,17…0,37	0,50…0,80	0,10…0,30	0,30
30ХН2МФА	0,27…0,34	0,17…0,37	0,30…0,60	0,60…0,90	2,00…2,40
Марка стали	Содержание элементов, % по массе				
	Mo	B	P	S	Cu
50РА	–	0,001…0,004	до 0,025	до 0,025	до 0,20
30ХН2МФА	0,20…0,30	–	до 0,025	до 0,025	до 0,30

1.2. Режимы термической обработки ствольных сталей и получаемые механические свойства

Марка стали	Режим термической обработки				Размеры сечений заготовок (круг, квадрат), мм
	Закалка		Отпуск		
	Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда	Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда	
50РА	850±10	Масло	520...600	Воздух	16
30ХН2МФА	860	Масло	680	Воздух	25

Марка стали	Механические свойства, не менее				
	Временное сопротивление, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Ударная вязкость, Дж/см^2
50РА	800	550	10	40	60
30ХН2МФА	900	800	10	40	90

С целью повышения механических свойств стали, особенно для стволов высокотемпных автоматических пушек, при выплавке рафинируют синтетическими шлаками, подвергают электрошлаковому и электродуговому переплаву.

Благодаря этим методам, повышаются пластичность, ударная вязкость, долговечность стали при циклических нагрузках. Например, после рафинирования синтетическими шлаками ударная вязкость стали 50РА повышается на 30%.

Эти переделы увеличивают стоимость сталей и на некоторых операциях механической обработки (в частности, при обработке каналов) вызывают определенные трудности с удалением стружки и обеспечением необходимой шероховатости поверхности.

Проверка механических свойств материала ствольных заготовок производится 100-процентным замером твердости и испытаниями на образцах для определения ударной вязкости и пределов пропорциональности, прочности, сужения. Образцы вырезают вдоль оси заготовок. Две

заготовки из партии с минимальной и максимальной твердостью берут для изготовления образцов.

Например, партия ствольных заготовок для автомата Калашникова (АК) комплектуется в количестве не более 600 штук, и из двух заготовок вырезают: в **казенной части** – образец для испытания на разрыв стандартных размеров; в **середине** – образец для определения ударной вязкости; у **дульной** части – образец для испытания на разрыв укороченный.

1.1.2. Образование канала в заготовке

Канал ствола оружия является глубоким отверстием. Под глубокими понимают такие отверстия, у которых отношение длины канала L больше его диаметра d в пять раз ($L/d > 5$). До пятидесятых годов XX века глубокими считались такие каналы, у которых L/d было больше 10.

В связи с развитием производства двигателей реактивных самолетов и ракет стало необходимым применение нержавеющих и жаропрочных материалов, которые трудно обрабатываются резанием, поэтому отношение L/d уменьшили.

Канал в заготовке изготавливается чаще всего по схеме: предварительное сплошное сверление, получистовое развертывание, чистовое развертывание или хонингование, иногда электрохимическая обработка, иногда протягивание.

1.1.2.1. Сплошное сверление

Благодаря тому, что заготовки стволов стрелкового и автоматического пушечного оружия практически всегда представляют собой тела вращения и их размеры и массы относительно невелики, кинематика сверления их следующая: заготовка вращается, а инструмент имеет движение подачи (рис. 1.2.).

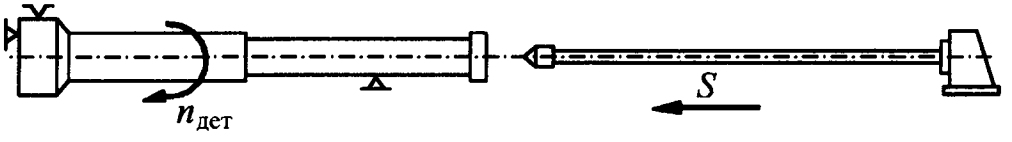


Рис. 1.2. Кинематика сверления каналов ствольных заготовок стрелкового оружия и автоматических пушек

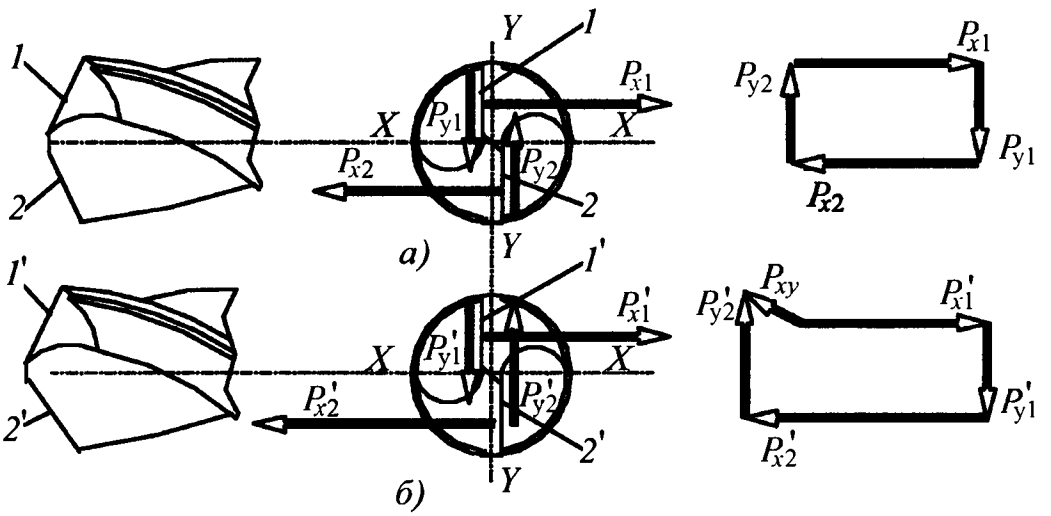


Рис. 1.3. Схема сил, действующих в плоскости *XY*, при сверлении симметричными сверлами с двумя главными режущими кромками:
а – случай с идеальной заточкой режущих кромок 1 и 2;
б – реальный случай, когда кромки 1′ и 2′ не равны

Другие варианты кинематики сверления глубоких каналов будут рассмотрены во второй главе учебника.

На первый взгляд, можно было бы производить сверление ствольных заготовок спиральными сверлами с двумя главными режущими кромками. Но рассмотрение простейшей схемы сил, действующих на режущие кромки в плоскости *XY* (рис. 1.3), показывает, что за счет погрешностей заточки таких сверл, в реальном случае образовывается радиальная сила P_{xy}, которая приводит к смещению сверла от оси канала (к уводу сверла или к разбивке диаметра отверстия).

Благодаря этой особенности показанные на рис. 1.3. сверла носят также название *инструментов без определенного базирования*.

Для обеспечения минимальных уводов сверление глубоких отверстий осуществляется сверлами с определенным базированием с *внутренним подводом* СОЖ (смазочно-охлаждающей жидкости) и *наружным отводом стружки* для каналов диаметром 4...12 мм и с *наружным подводом* СОЖ и *внутренним отводом стружки* для каналов диаметром 12...30 мм.

Однако, сущетсвуют сверла с определенным базированием и с внутренним отводом стружки диаметром порядка 5...6 мм.

Общие виды таких сверл приведены на рис. 1.4.

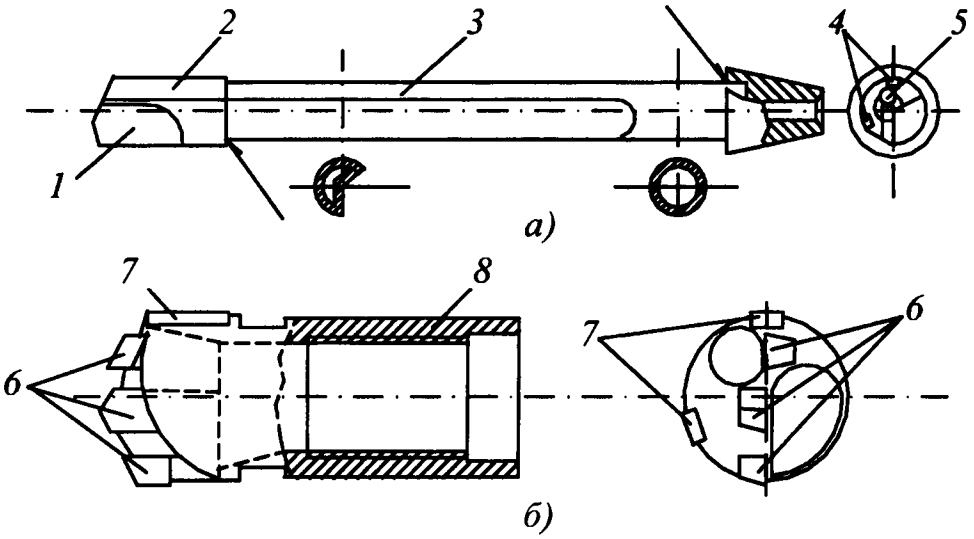


Рис. 1.4. Общий вид сверл для глубокого сверления:
а – с внутренним подводом СОЖ и наружным отводом стружки;
б – с наружным подводом СОЖ и внутренним отводом стружки;
1, *6* – режущие пластины; *2* – рабочая часть сверла («колосок»);
3 – стебель сверла; *4*, *7* – базирующе-направляющие элементы;
5 – отверстие в колоске для подачи СОЖ; *8* – корпус сверла

Термин «***определенное базирование***» требует некоторого пояснения. Определенность базирования подразумевает надежный контакт, опору направляющих инструмента на обработанную этим инструментом поверхность канала. Этот контакт получается за счет проектирования режущих кромок инструмента таким образом, чтобы организовать в плоскости *YZ* (рис. 1.5) результирующую силы резания $P_{yz\Sigma}$. Эта результирующая должна проходить между направляющими опорными элементами *5* и *6*.

В зависимости от диаметра сверла и принципа подвода СОЖ – отвода стружки, силу $P_{yz\Sigma}$ можно в какой-то степени менять по величине и направлению. Это будет сказываться на работе направляющих элементов. Так, для рабочей части сверла с односторонне расположенной режущей кромкой сила $P_{yz\Sigma}$ будет значительной (рис. 1.5, *а*). Для сверла (см. рис. 1.5, *б*) за счет вынесения части режущей кромки на противоположный радиус результирующая сила $P'_{yz\Sigma}$ будет меньше, как это видно из сравнения силовых многоугольников. Благодаря этому нагрузка на направляющие сверла (см. рис. 1.5, *б*) уменьшается, сила трения на них и их износ становится меньше, улучшаются шероховатость и точность получаемого канала.

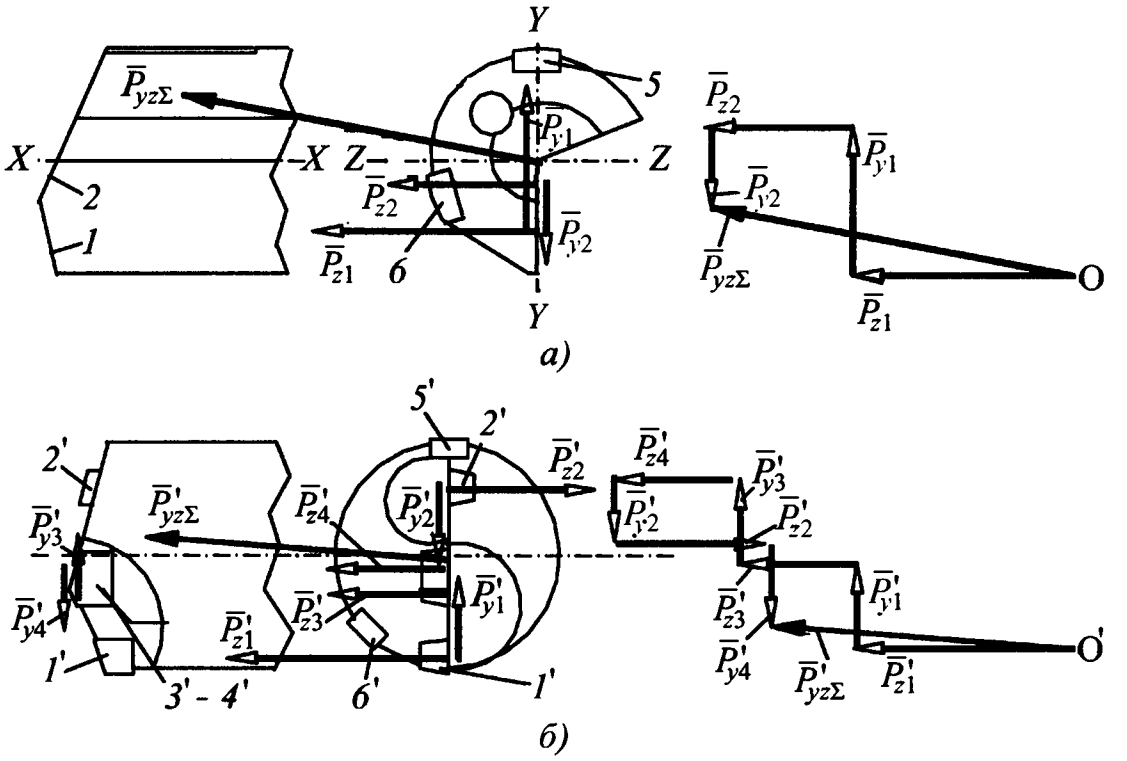


Рис. 1.5. Схема сил, действующих на режущие кромки сверл с определенным базированием

Материалом направляющих практически всегда является твердый сплав вольфрамовой группы (типа ВК8).

Режущие части сверл глубокого сверления изготавливаются твердосплавными или из быстрорежущих сталей, редко из инструментальной углеродистой стали.

Сверла с определенным базированием и наружным отводом стружки часто называют ружейными. Эскиз такого сверла с основными требованиями по конструкции и изготовлению дан на рис. 1.6.

Особенностью таких сверл, как было показано выше, является V-образная форма его режущей части и, в связи с принципом наружного отвода стружки, V-образная же форма стебля. Стебель этих сверл всегда изготавливается из стальной трубы. Необходимый профиль стебля получается продавливанием трубы фасонным роликом или волочением ее через фильеру. Стебель для повышения прочности термообрабатывается до 40 HRC.

Рабочие части ружейных сверл (так называемые колоски) изготавливаются трех конструктивных видов:

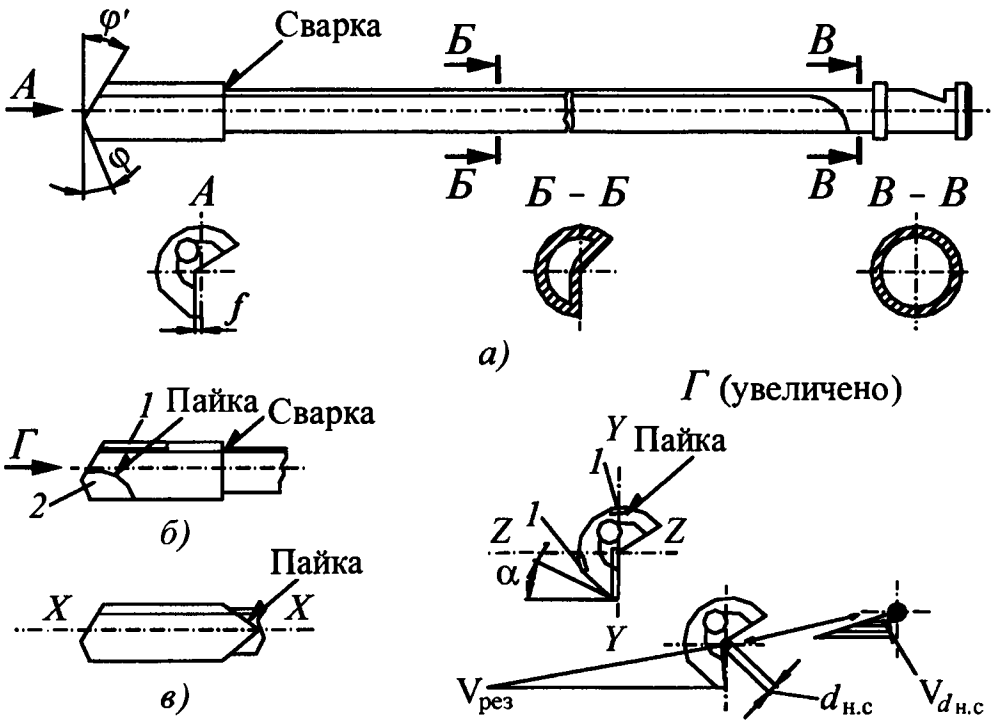


Рис.1.6. Эскиз сверла с определенным базированием и наружным отводом стружки (ружейного сверла): *1* – припаянные твердосплавные направляющие; *2* – припаянная режущая твердосплавная пластина

– колосок из быстрорежущей или углеродистой инструментальной стали (см. рис. 1.6, *а*) приваривается к стеблю, и его режущие кромки затачиваются с необходимыми углами в специальных заточных приспособлениях;

– колосок из конструкционной стали (см. рис. 1.6, *б*) приваривается к стеблю, и в колосок впаиваются режущие пластины *2* и направляющие элементы *1*. Режущие пластины и направляющие выполняются из твердых сплавов.

– монолитный твердосплавный колосок (см. рис. 1.6, *в*) припаивается к стеблю, и на нем вышлифовываются необходимые формы режущих кромок и направляющих.

При затачивании передней поверхности по направлению оси *Y-Y* в районе центра сверла при работе получается нулевая скорость резания, что приводит к выламыванию центральной режущей части.

Особенностью затачивания передней поверхности ружейных сверл диаметром до 12...15 мм является занижение режущей кромки относительно оси *Y-Y* (рис. 1.6). За счет этого занижения в центре образовывается так

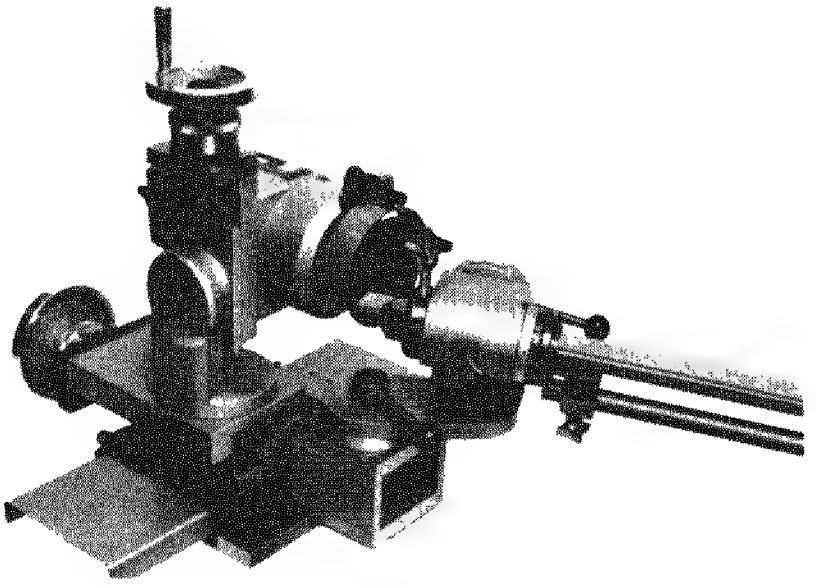


Рис. 1.7. Станок для затачивания ружейных сверл с определенным базированием

называемый «нулевой стержень» – $d_{н.с}$. Скорость резания при этом будет хотя и малой, но не нулевой, что облегчает работу режущей кромки. Обычно $d_{н.с}$ бывают порядка 0,2...1,0 мм.

Затачивание таких сверл должно производиться в специальных заточных приспособлениях или в специальных заточных станках. Кинематика этих устройств позволяет делать затыловку задних поверхностей по спирали, вышлифовывать канавки и уступы.

Изображение одного из таких станков дано на рис. 1.7. На фотографии видны направляющие станка, приводные маховички, по которым можно представить кинематические возможности станка.

Сверла с определенным базированием и внутренним отводом стружки (рис. 1.8) обладают рядом преимуществ по сравнению с инструментами с наружным отводом. Стебель сверл с внутренним отводом представляет собой трубу правильной формы, которая передает осевые усилия и крутящие моменты, возникающие при обработке канала более благополучно относительно оси канала, чем у сверл с V-образным стеблем (см. рис. 1.6, *а*). Крутящие моменты и осевые усилия у сверл с V-образным стеблем при работе прикладываются внецентренно, что приводит к поперечному изгибу стебля, его трению о стенки канала, а также к поперечным и осевым вибрациям.

Сверлятся заготовки из углеродистых и легированных сталей до термообработки, поэтому скорости резания достигают 60...70 м/мин при изготовлении рабочей части сверла из быстрорежущей стали и 90...100 м/мин, для рабочей части сверл, оснащенных твердым сплавом.

Подача сверла на оборот зависит от его диаметра, и для диаметров 5...8 мм назначается порядка 0,02...0,025 мм/об, а для диаметров 25...30 мм – порядка 0,06...0,08 мм/об. Производительность сверления для диаметров 5...30 мм, таким образом, лежит в диапазоне 60...100 мм/мин.

Для глубокого сверления в качестве СОЖ чаще всего применяются жидкости на основе минерального масла с противозадирными присадками серы, хлора. Такие вязкие жидкости имеют некоторые преимущества при удалении стружки из канала. Кроме того, они хорошо смазывают направляющие сверла и удовлетворительно охлаждают режущие кромки.

СОЖ подается в сверло под давлением 40...20 атм и расходом 8...25 л/мин соответственно для диаметров отверстий 6...30 мм.

Значения расходов и давлений СОЖ наглядно показывают номограммы из проспектов зарубежных фирм, которые специализируются на обработке глубоких отверстию. Пример такой номограммы дан на рис. 1.9.

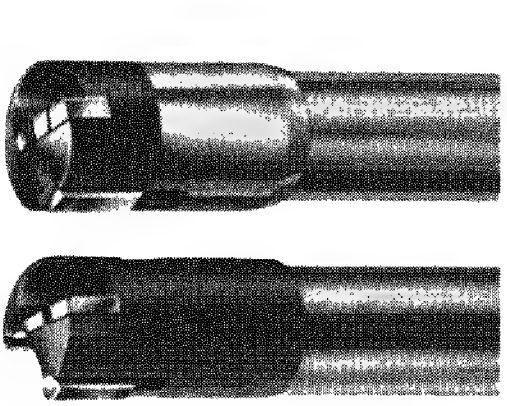


Рис. 1. 8. Сверла определенного базирования с внутренним отводом стружки

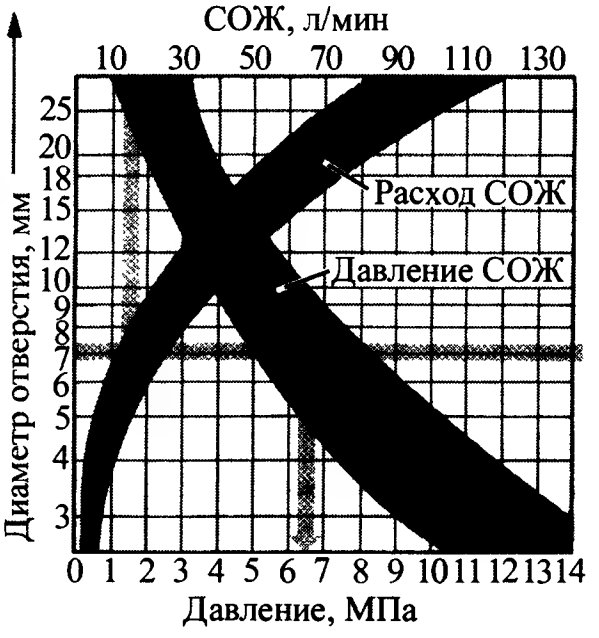


Рис. 1.9. Номограмма выбора расходов и давлений СОЖ при сверлении глубоких отверстий малого и среднего диаметров

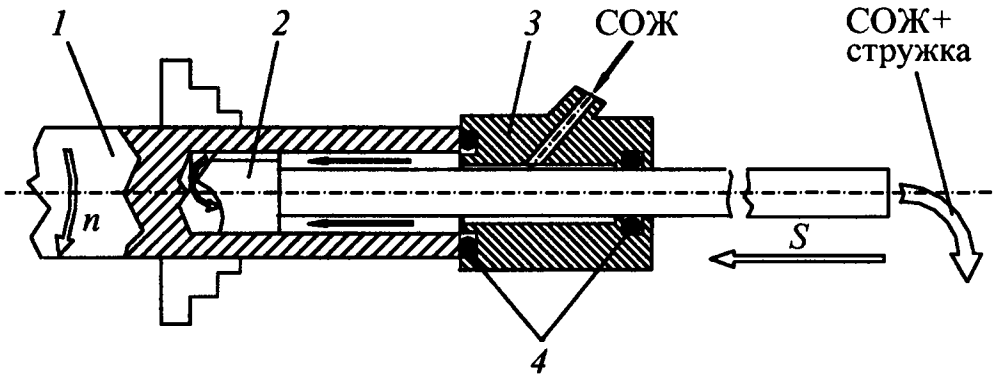


Рис. 1.10. Схема работы маслоприемника при сверлении глубоких отверстий инструментами с наружным подводом СОЖ и внутренним отводом стружки: *1* – обрабатываемая деталь; *2* – сверло; *3* – маслоприемник; *4* – уплотнения маслоприемника

Для подачи СОЖ в сверло с внутренним отводом стружки применяются специальные устройства – маслоприемники. Схематичное изображение устройства маслоприемника представлено на рис. 1.10.

Безусловно, фактические конструкции маслоприемников существенно сложнее, чем на показанной схеме. В основном это касается уплотнений, которые должны работать в режиме трения. Сам маслоприемник крепится на станине станка и не вращается. Уплотнение, расположенное на рисунке справа, кроме трения о штангу сверла при рабочей подаче, может также интенсивно тереться о стебель сверла, при работе со встречным вращением детали и инструмента.

Внешний вид станка для сверления глубоких отверстий диаметром 5...12 мм дан на рис. 1.11.

На этом станке маслоприемник отсутствует, а на его месте стоит стружкоприемник. СОЖ подается в хвостовой конец сверла, что хорошо видно на фотографии.

Для сверления относительно коротких заготовок – до 800 мм с диаметром канала 4...8 мм применяются обычно двухшпиндельные станки (рис. 1.12).

Двухшпиндельные станки для такого типа деталей более экономичны (в части занимаемой цеховой площади), имеют одну маслостанцию подачи СОЖ и позволяют производить установку заготовки в шпиндель при работающем втором шпинделе, тем самым повышая производительность.

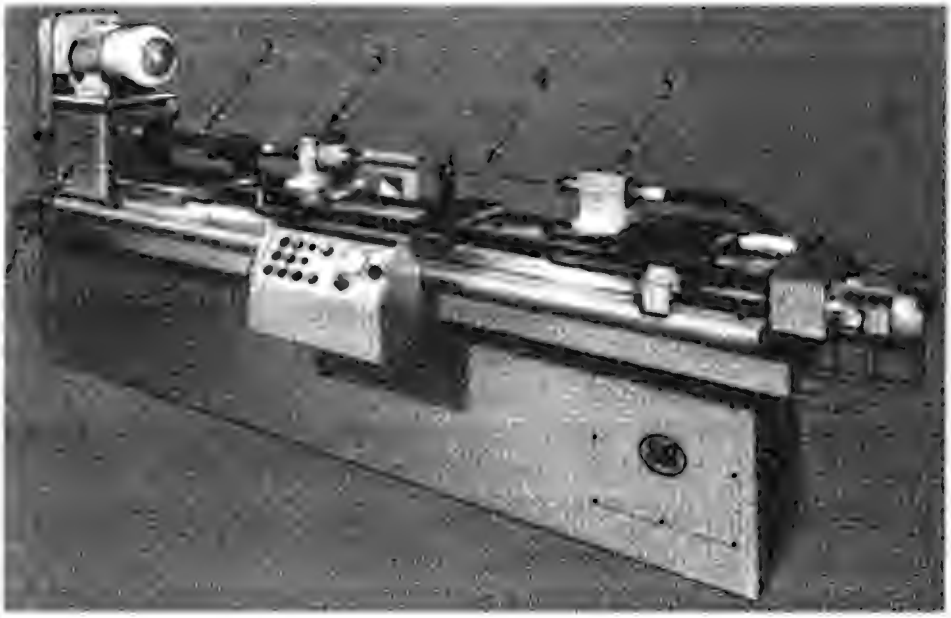


Рис. 1.11. Внешний вид станка для глубокого сверления каналов ∅5...12 мм инструментом с наружным отводом стружки:
1 – шпиндельная бабка с главным приводом; *2* – обрабатываемая деталь; *3* – стружкоприемник; *4* – стебель сверла; *5* – суппорт; *6* – привод подачи

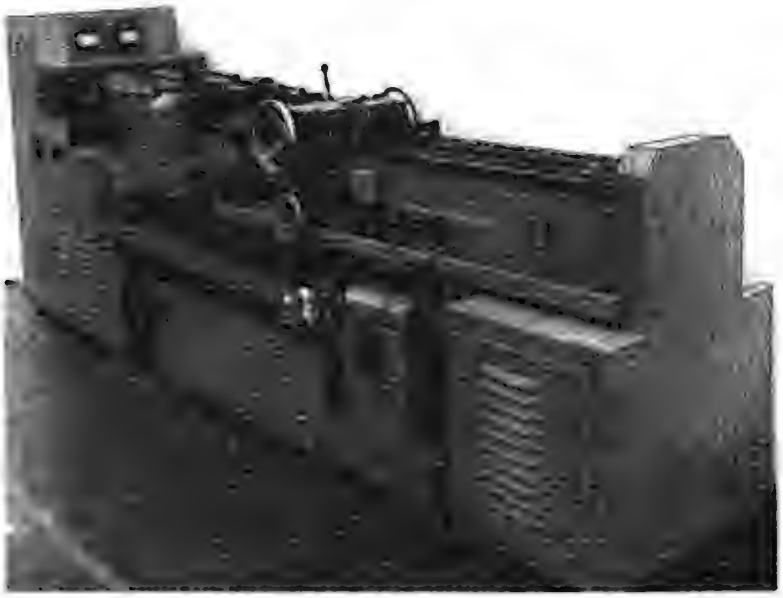


Рис. 1.12. Двухшпиндельный станок для сверления глубоких каналов ∅4...8 мм и глубиной до 800 мм

1.1.2.2. Получистовое и чистовое развертывание каналов

Получистовое и чистовое развертывание каналов после сверления производится развертками из инструментальных сталей или с ножами, оснащенными твердосплавными пластинами (рис. 1.13).

Развертки со стальной рабочей частью (см. рис. 1.13, *а*) применяются для обработки каналов стрелковых калибров 4...12 мм. Развертки с твердосплавными ножами (см. рис. 1.13, *б*) обрабатывают каналы диаметрами 10...30 мм. Они имеют перед режущими ножами направляющую втулку из дерева твердых пород. Втулка работает по предварительно обработанному каналу, демпфируя развертку в радиальном направлении.

Кинематика процесса развертывания: развертка или чаще деталь вращаются, а инструмент имеет осевую подачу.

Развертки, показанные на рис. 1.13, *а,* работают на сжатие, а на рис. 1.13, *б* – на растяжение.

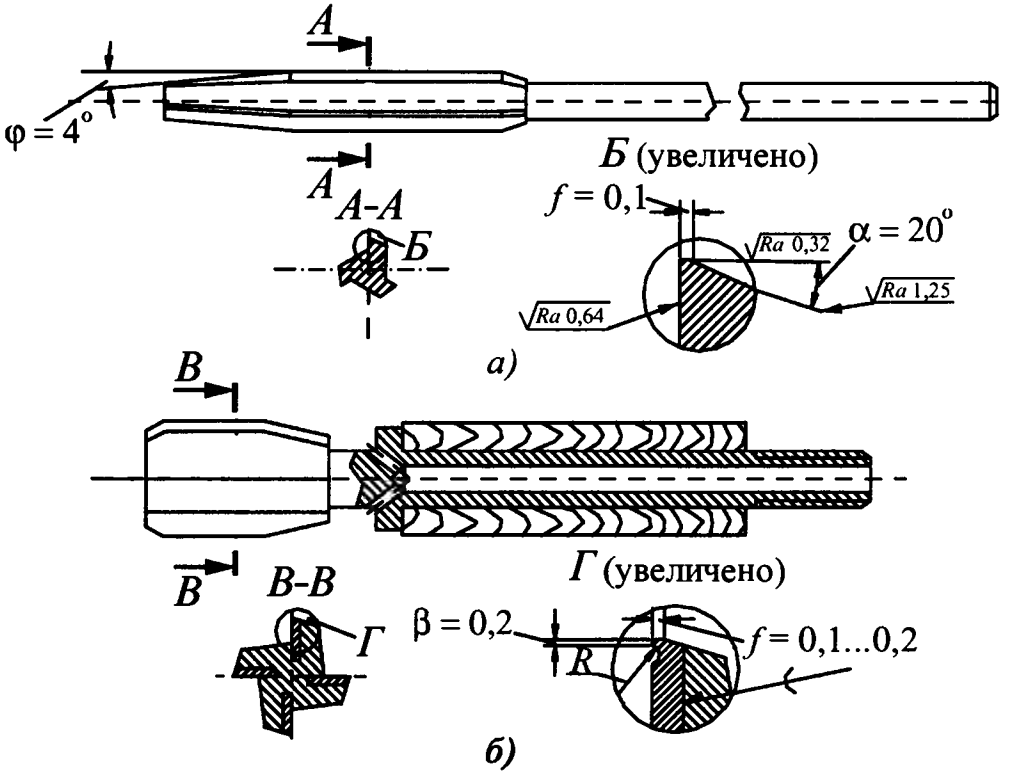


Рис. 1.13. Развертки для получистовой и чистовой обработки каналов ствольных труб: *а* – стальная; *б* – оснащенная твердым сплавом

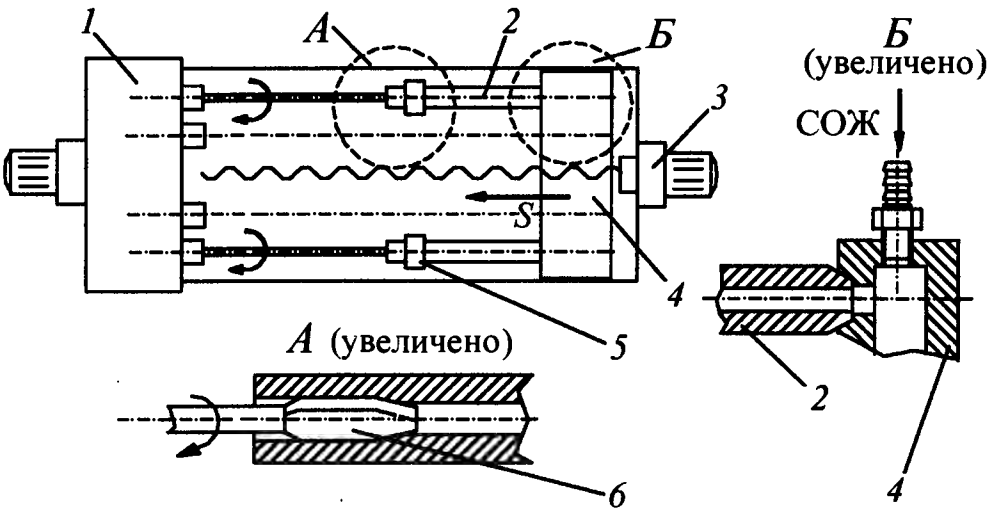


Рис. 1.14. Компоновка и кинематика станка для развертывания ствольных заготовок развертками со стальной режущей частью:
1 – шпиндельная бабка станка (вид сверху); *2* – обрабатываемая деталь; *3* – привод подачи суппортной каретки; *4* – суппортная каретка с маслоприемником; *5* – ложементы крепления обрабатываемой заготовки; *6* – рабочая часть развертки

При развертывании обязательно применение СОЖ. В качестве СОЖ используется минеральное масло с противозадирными присадками.

При работе стальными развертками стружка образуется в виде относительно мелких элементов и удаляется жидкостью за или перед разверткой. В случае удаления стружки за разверткой эти мелкие элементы не повреждают обработанного канала. СОЖ подается через маслоприемник (рис. 1.14).

В твердосплавные развертки СОЖ подается по стеблю (цевке) к ножам (на рис. 1.13, *б* видны каналы подвода СОЖ к каждому такому ножу), хорошо их смазывает и охлаждает.

Стружка в виде сливных спиралей остается за разверткой и при работе может царапать уже обработанную поверхность канала, так как процесс идет с большими оборотами. Поэтому, после обработки канала такими развертками чаще всего происходит дорабатывание канала хонингованием или электрохимической обработкой (ЭХО).

У разверток с твердосплавными ножами деревянная направляющая втулка при работе изнашивается за счет трения о предварительно обработанную поверхность канала. Однако, за счет гидрофобности дерева этот износ частично восстанавливается и втулка продолжает работать удовлетворительно.

Для рабочей части *стальных* разверток применяются инструментальные углеродистые стали типа У10...У12, для *твердосплавных* – сплавы типа ТК.

Примерные режимы развертывания стальными развертками заготовок из стали 50РА с диаметром канала 6...7 мм:

v = 4,6 м/мин, S_o = 0,61 мм/об, t = 0,09 мм (n = 209 об/мин, $S_{мин}$ = = 127 мм/мин).

Расход СОЖ 2...3 л/мин. В качестве СОЖ применяется осерненное минеральное масло (иногда с добавками рыбьего жира 20%).

Твердосплавные развертки работают в следующих режимах: v = 100...150 м/ мин, S_o = 0,3...0,35 мм/ об, $S_{мин}$ = 500...600 мм/мин.

На рис. 1.14 показана компоновка и кинематика станка для развертывания каналов *стальными развертками.*

Станок имеет достаточно широкую станину, на которой крепится шпиндельная бабка *1* с группой одинаковых шпинделей (на станках одного из заводов их 10 штук).

Обычно производится двукратное (предварительное и окончательное) развертывание канала. Станок сначала загружается пятью заготовками, которые предварительно развертываются. Затем эта партия заготовок переставляется в позиции чистового развертывания, а на первоначальные позиции загружается новая партия заготовок для предварительной обработки. После каждого цикла развертывания со станка снимаются пять готовых деталей. Такой станок работает с весьма большой производительностью.

Из схемы (см. рис. 1.14) видно, что во время развертывания в каналы заготовок под давлением подается СОЖ и стружка вымывается из канала, не повреждая его поверхность. СОЖ вместе со стружкой попадает в корыто станка (на схеме не показано), далее стружка отфильтровывается, а СОЖ стекает в бак, откуда насосом опять подается в суппортную каретку.

Для развертывания глубоких каналов *скоростными развертками с ножами, оснащенными твердым сплавом,* применяется разверточный станок, кинематика которого дана на рис. 1.15.

Особенностью этого станка является гидравлический привод подачи, который подает рабочую жидкость в цилиндр подачи с переменной производительностью. Это позволяет устанавливать наиболее рациональные величины рабочих подач для каждого варианта обработки того или иного изделия.

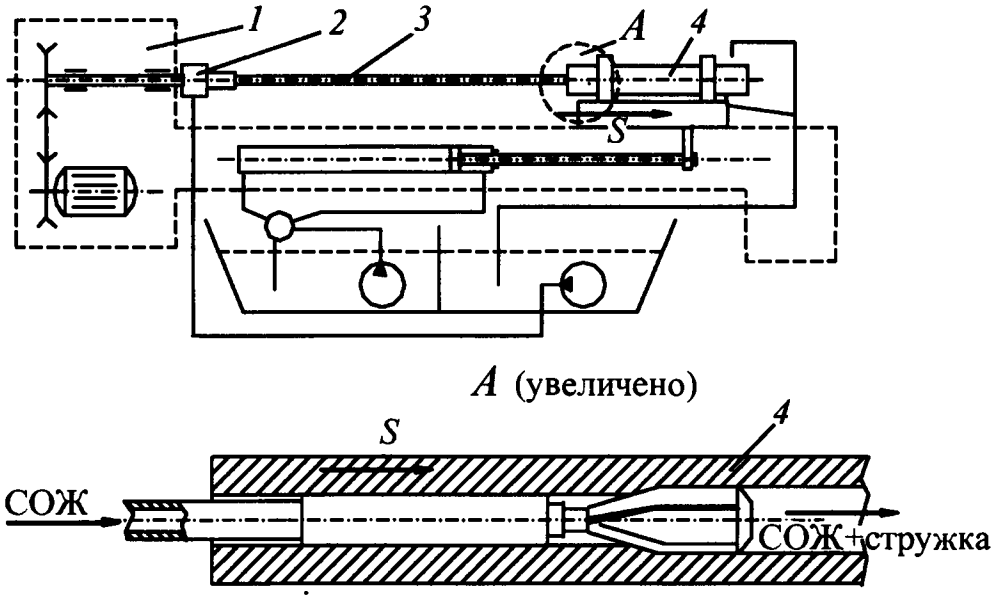


Рис. 1.15. Компоновка и кинематика станка для развертывания ствольных заготовок развертками с твердосплавными ножами: *1* – шпиндельная бабка; *2* – муфта подвода СОЖ в стебель развертки; *3* – стебель (цевка) развертки; *4* – деталь

1.1.2.3. Хонингование каналов

Хонингование каналов производится хонголовками с одним бруском для малых (4...6 мм) диаметров и многорядными для больших (8...30 мм), рис. 1.16.

Процесс хонингования для деталей типа труб имеет, в зависимости от положения трубы, различную кинематику. При горизонтальном расположении заготовки на станке вращение задается как инструменту, так и заготовке, при вертикальном – только инструменту (хонинговальной головке).

Одновременно с вращением в обеих схемах инструмент перемещается возвратно-поступательно. Сложение этих движений на поверхности канала дает для единичной точки бруска (абразивного зерна головки) траекторию царапины в виде сетки. Бруски на своей поверхности имеют множество абразивных зерен, поэтому на поверхности обрабатываемого канала образуется густая сетка царапин.

Производительность процесса и шероховатость обработанной поверхности зависят от типа абразива брусков, от соотношений скоростей вращательного и возвратно-поступательного движений, и от удельного давления брусков на поверхность канала.

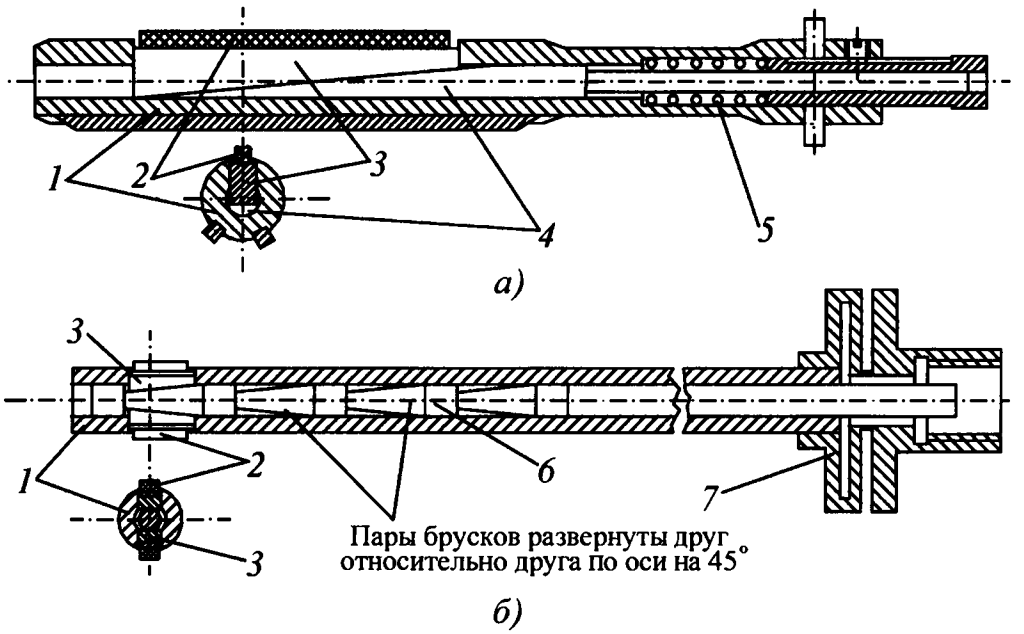


Рис. 1.16. Хонинговальные головки однобрусковая (*а*) и многорядная (*б*):
1 – корпус головки; *2* – абразивный брусок; *3* – стальная колодка бруска; *4* – клин подачи бруска; *5* – пружина отвода бруска; *6* – валик подачи брусков; *7* – упругая муфта

Бруски изготавливаются из электрокорунда с керамической связкой или из искусственных алмазов с металлической связкой.

Соотношение $v_{окр}/v_{прод}$ влияет на шероховатость и производительность хонингования. При соотношении 1:1 производительность растет, но ухудшается шероховатость и увеличивается износ брусков. Чистовое хонингование производится при соотношениях 2 : 1, 3 : 1.

Скорость продольного движения выбирается порядка 10…25 м/мин.

Подача составляет 0,0012…0,0006 мм/дв. ход чистового хонингования и 0,0003…0,0001 мм/дв. ход для чистового.

Припуск под хонингование, в связи с относительно малой производительностью процесса, назначается порядка 0,2…0,02 мм.

Давление брусков на поверхность канала детали составляет 0,3… 0,2 МПа. Меньшие значения давления применяются на чистовых проходах.

Для надежного вымывания микростружек, затупившихся зерен абразива и частиц связки брусков при хонинговании, обязательно использование СОЖ.

Достаточно хорошую моющую способность имеет СОЖ, состоящая из 50 % керосина и 50 % машинного (веретенного) масла.

Потребная шероховатость поверхности канала заготовок ствольных труб для последующего процесса радиальной ковки лежит в диапазоне Ra = 0,8...1,25 мкм без кольцевых рисок (порезок). Процесс хонингования надежно выполняет такое требование.

1.1.2.4. Протягивание каналов

На некоторых заводах достаточно широко применялось протягивание каналов ствольных труб.

Стальные протяжки использовались двух видов: с кольцевыми (рис. 1.17, *а*) и винтовыми зубьями (рис. 1.17, *б*), где $\alpha = 4°$; $\gamma = 10°$; $h = 0{,}4$; $e = 0{,}8$; $\alpha_к = 1°$, $f = 0{,}05...0{,}1$.

Протягивание отверстий с точки зрения кинематики оборудования – процесс чрезвычайно простой (всего лишь поступательное движение инструмента).

Это хорошо видно из схемы протяжного станка, рис. 1.18.

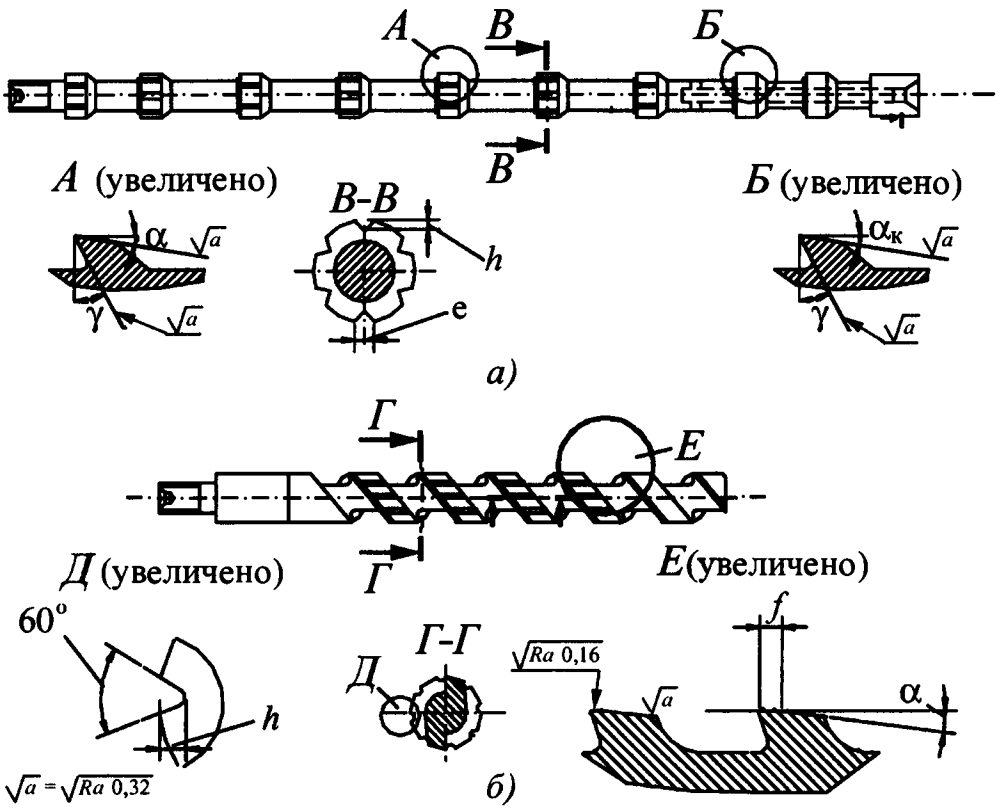


Рис. 1.17. Протяжки для чистовой обработки каналов ствольных труб: *а* – протяжка с кольцевыми зубьями; *б* – протяжка с винтовыми зубьями

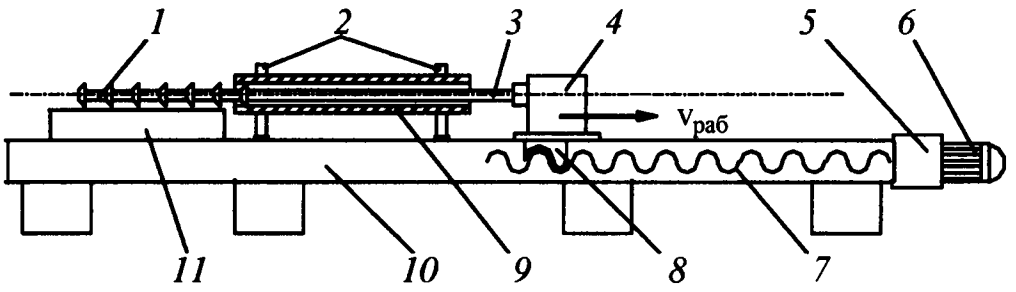


Рис. 1.18. Примерная кинематическая схема станка для протягивания глубоких каналов: *1* – протяжка; *2* – хомуты закрепления изделия на станке; *3* – штанга; *4* – каретка; *5* – редуктор подачи; *6* – двигатель; *7* – ходовой винт; *8* – ходовая гайка; *9* – изделие (обрабатываемая деталь); *10* – станина; *11* – лоток для протяжки

На некоторых заводах протяжке сообщали еще и вращательное движение – для избежания на поверхности канала продольных рисок.

Сложностью в этом относительно простом процессе является изготовление протяжки. Профиль и качество заточки зубьев обеспечиваются высококвалифицированными заточниками-инструментальщиками.

Изготовление протяжек с кольцевыми зубьями проще, но протяжка получается очень длинной, так как при протягивании всего канала стружка, снятая каждым зубом, должна находиться в промежутке между зубьями. Приходится производить протягивание комплектом из нескольких протяжек длиной, приемлемой для цеховых условий.

У протяжек с винтовыми зубьями стружка удаляется по канавкам непрерывно, поэтому они короче, и их производительность несколько выше (за счет только одного прохода). Но такие протяжки сложнее в изготовлении и заточке.

Все рабочие зубья протяжек для деления стружки по ширине имеют вышлифовки, расположенные в шахматном порядке. Зачистные зубья таких вышлифовок не имеют.

Подача на зуб (на диаметр) составляет 0,02...0,03 мм. Скорость протягивания $v_{раб}$ лежит в пределах 0,7...3,5 м/мин. Таким образом, машинное время протягивания канала длиной в один метр при длине протяжки порядка 0,7 м составляет 0,5...1,0 мин. Протягивание происходит с подачей СОЖ.

Комплект протяжек обычно хранится у рабочего места в стеллаже в

висячем состоянии для предотвращения прогиба протяжек. Протяжки после изготовления и окончания работы периодически погружаются в емкость с расплавленной пластмассой, для предохранения зубьев от случайных забоин. Перед работой оператор взрезает пластмассу ножом.

1.1.2.5. Термообработка заготовок ствольных труб

Перед развертыванием или радиальной ковкой ствольные заготовки проходят термообработку на механические свойства.

В связи с небольшими габаритами заготовок, в качестве нагревательного агрегата используется тигель с электронагревом (рис. 1.19).

Нагревательной средой для заготовок является расплавленный свинец. Он достаточно быстро отдает тепло заготовке, поэтому процесс нагрева относительно недолог. Например, нагрев под закалку заготовки ствола АК в свинцовой ванне длится 4 минуты при температуре свинца 830...850 °С.

Температура ванны контролируется термопарой с выходом на потенциометр.

Для меньшего окисления расплавленного свинца на зеркало ванны насыпается древесный уголь. Для извлечение нагретой заготовки из свинцовой ванны оператор производит подъем груза *5*; и благодаря тому, что удельный вес заготовки меньше удельного веса свинца, она всплывает.

После нагрева заготовка закаливается в масле, причем охлаждение ее происходит как с наружной, так и с внутренней стороны на установках для закаливания, схема такой установки показана на рис. 1.20. Масло нагрето до температуры 60...90 °С. Циркуляция масла ясна из схемы.

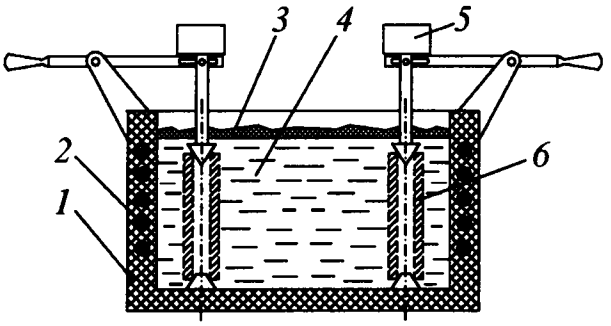


Рис. 1.19. Схема нагрева ствольных заготовок под закалку: *1* – тигель; *2* – электронагревательные элементы; *3* – слой древесного угля; *4* – расплавленый свинец; *5* – груз; *6* – нагреваемая заготовка

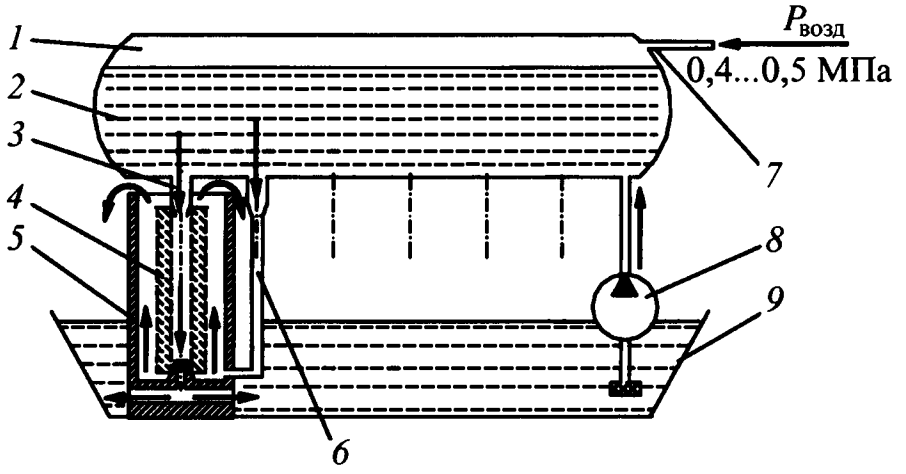


Рис. 1.20. Схема установки для закаливания ствольных заготовок:
1 – бак с закалочным маслом; *2* – закалочное масло; *3* – мундштук; *4* – заготовка ствола; *5* – закалочная емкость « бурак »; *6* – магистраль подачи масла в бурак; *7*– магистраль подачи в бак сжатого воздуха; *8* – насос подачи в бак масла; *9* – поддон

Закалочная установка имеет несколько позиций, которые последовательно загружаются оператором. Цех (или участок) термообработки ствольных заготовок должен быть оснащен надежной системой вытяжной вентиляции.

После закалки ствольные заготовки в зоне патронника проходят отпуск в свинцовых или селитровых ваннах. Температура отпуска 370...450 °С.

1.1.2.6. Радиальная ковка ствольных труб

Радиальная ковка (редуцирование) при изготовлении ствольных труб от стрелковых калибров до калибра 30 мм производится в холодном состоянии заготовки.

Суть процесса радиальной ковки заключается в строгом симметричном обжатии заготовки, чаще всего с расположенной внутри нее оправкой – дорном. Схема этого процесса показана на рис. 1.21.

Исходная заготовка *5* зажимается в двух центрах: заднем – *1* и переднем с торцевыми острыми рифлениями – *2*. При зажиме рифления *2*

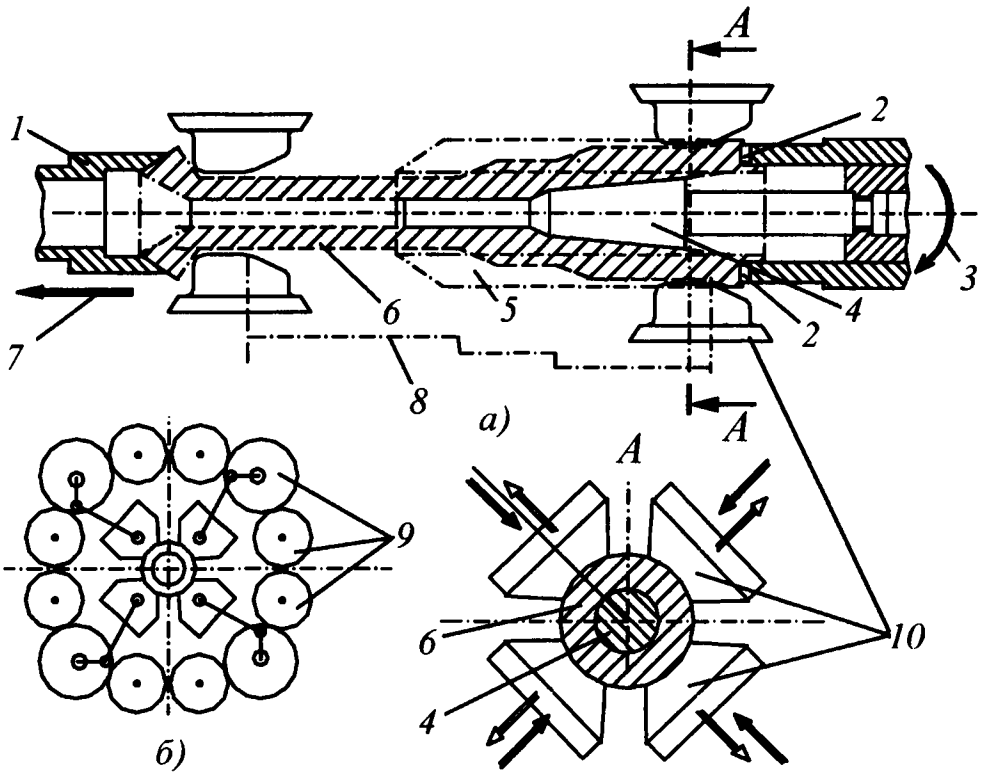


Рис. 1.21. Схема процесса радиальной ковки трубной заготовки:
а – трубная заготовка; *б* – кривошипно-шатунный механизм;
1 – поддерживающий центр; *2* – рифления центра, задающего вращение заготовки; *3* – направление вращения заготовки при ковке; *4* – дорн;
5 – исходная заготовка; *6* – поковка; *7* – направление продольного движения заготовки при ковке; *8* – условная траектория перемещения бойков;
9 – приводные шестерни молотов; *10* – бойки молотов

врезаются в торец заготовки и сообщают ей вращение *3* относительно оси.

В канал заготовки вводится дорн *4* так, чтобы его рабочая часть находилась в зоне ковки (на схеме – правое положение бойков). В конце ковки дорн постепенно подается влево и проковывается канал по максимальному диаметру дорна – по профилю патронника.

Четыре молота с бойками *10* перемещаются в радиальном направлении возвратно-поступательно и синхронно с амплитудами, отличающимися друг от друга в единицы сотых долей миллиметра.

Эти перемещения производятся кривошипно-шатунными механизмами, связанными между собой шестернями *9*.

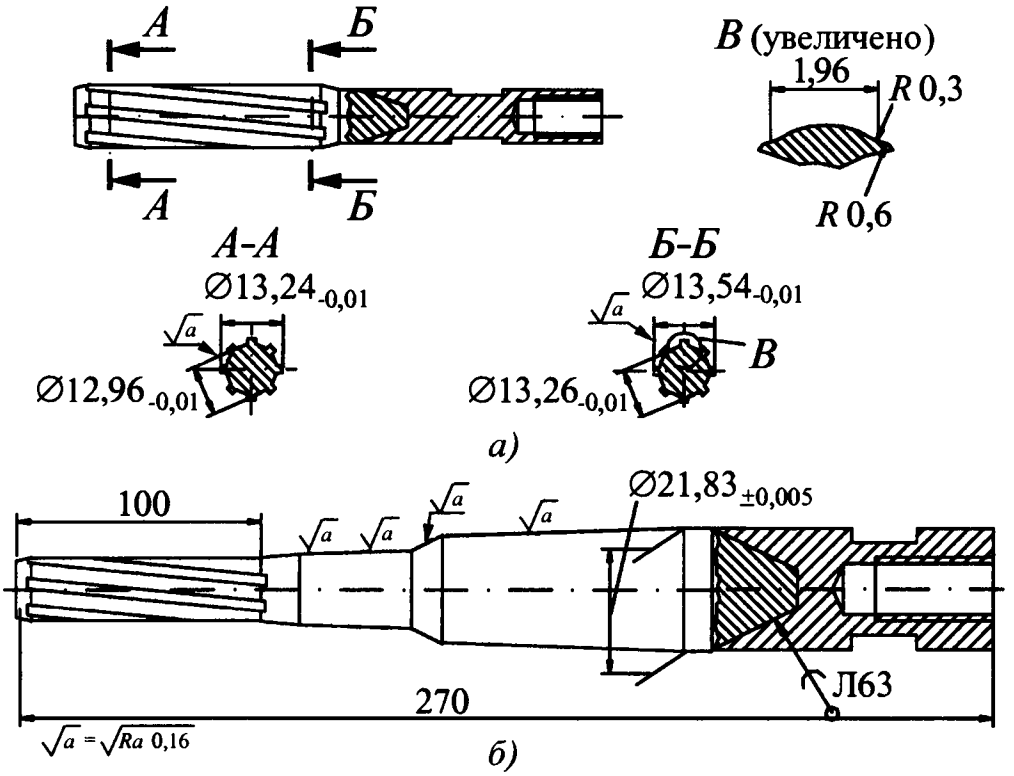


Рис. 1.22. Дорны для радиальной ковки ствольных труб калибром 12,7 мм: *а* – для ковки только нарезов; *б*– для ковки нарезов и патронника

При ковке заготовка удлиняется. За счет этого задний центр *1* отодвигается влево.

В процессе ковки толщина стенок поковки может изменяться. Это достигается одновременным уменьшением длины кривошипов по программе. На схеме пунктиром показана условная траектория перемещения бойков по мере обработки. Условность ее состоит в том, что бойки перемещаются только по радиусу, а не вдоль оси заготовки. В осевом направлении перемещается заготовка относительно бойков, расположенных в зоне ковки. Бойки изготавливаются из твердого сплава для малых радиально-ковочных машин и из качественных закаленных сталей с износостойкими наплавками на рабочей части для больших машин.

На рис. 1.22 показаны дорны для изготовления стволов с нарезными каналами без патронников (*а*) и с патронниками (*б*).

Рабочая часть дорнов изготавливается из твердых сплавов типа ВК со значительным содержанием кобальта (до 15...20%) для повышения их пластичности в процессе работы со знакопеременными нагрузками.

К твердосплавной рабочей части дорнов припаивается хвостовик с резьбой, за который дорн удерживается оправкой в зоне ковки.

Окончательные размеры дорна и требования по шероховатости обеспечиваются шлифованием алмазными кругами.

Упругопластические свойства материала трубы в разных партиях заготовок требуют, для получения необходимого размера канала трубы после ковки, применения дорнов с разными диаметрами их нарезной части. Это требование решается изготовлением нарезной части дорнов с небольшой конусностью. Рабочее положение дорна в зоне ковки определяется предварительной ковкой одной-двух заготовок от партии на некотором участке рабочей части дорна с последующим их обмером. При необходимости осевое положения дорна корректируется.

Примерный порядок величины коррекции диаметра канала представлен на рис. 1.22. (диаметры по полям рабочей части дорна 12,96 мм и 13,26 мм).

Требования к исходному каналу заготовки под радиальную ковку по точности выполнения диаметра канала относительно невелики: 0,2...0,3 мм, но шероховатость канала выполняется с Ra = 0,8 мкм. Особенно нежелательны кольцевые риски (порезки).

Перед ковкой канал смазывается специальной жидкой смазкой для предотвращения налипания металла заготовки на дорн.

После ковки изделия контролируются по геометрическим размерам и проходят специальную термообработку для снятия остаточных напряжений.

Примерный вид заготовок под радиальную ковку и некоторые требования к ним даны на рис. 1.23.

Радиальная ковка производится на машинах типа SHK-17 австрийской фирмы GFM.

Некоторые технические характеристики таких машин:

максимальный диаметр обрабатываемой заготовки, мм..	170
длина заготовки, мм.....	1000...10000
максимальное ковочное усилие, т.....	210
частота работы молотов, 1/мин.....	650
скорость осевой подачи (бесступенчатое изменение), м/мин.....	0...8

Производительность ковки, как следует из этих характеристик, весьма высока. Например, на весь процесс ковки ствола калибром 12,7 мм и длиной 1400 мм требуется 10...11 минут.

На рис. 1.24 представлены основные агрегаты радиально-ковочной машины и рабочее место оператора.

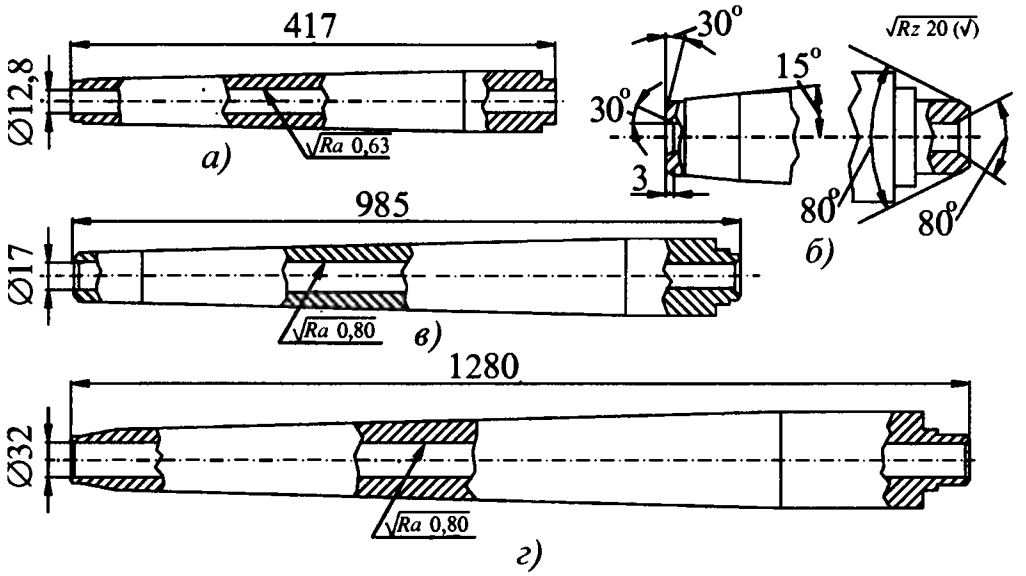


Рис. 1.23. Вид заготовок под радиальную ковку ствольных труб:
а – калибр 7,62 мм; *б* – типовая форма переднего и заднего концов заготовки под радиальную ковку; *в* – калибр 14,7 мм; *г* – калибр 30 мм

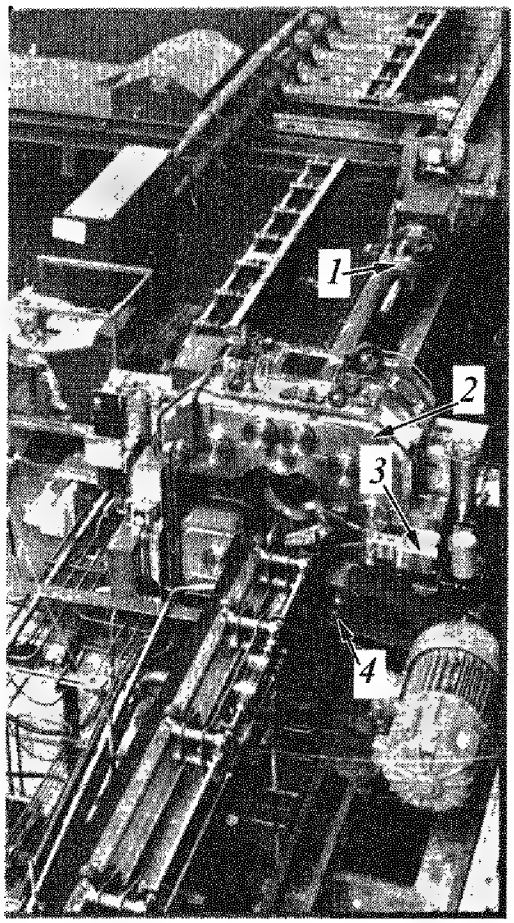


Рис. 1.24. Радиально-ковочная машина, вид на основной узел (ковочный портал):
1 –задний манипулятор;
2 – ковочный портал;
3 – загрузочный робот;
4 – шкив привода молотов

1.2. Изготовление нарезов

Нарезы в трубах калибров 4...30 мм в настоящее время в подавляющем большинстве случаев выполняются радиальной ковкой.

Кроме радиальной ковки нарезы у стволов таких калибров могут изготавливаться шпалерованием, дорнованием (дорнированием), электрохимическим способом, протягиванием.

1.2.1. Обработка нарезов шпалером

На рис. 1.25 даны схематические изображения шпалера и дорна.

Обработка нарезов шпалером происходит на шпалеровальном станке (принципиальная схема которого дана на рис. 1.26) в такой последовательности: шток *3* максимально выдвинут влево, резцовые щетки из инструментальной стали не выступают за наружный диаметр корпуса *2*. Шпалер при рабочем ходе вводится в канал обрабатываемого ствола *7* (см. рис. 1.26) с левой стороны (по схеме) и выходит из него с правого торца. При обратном (холостом ходе) после выхода из нарезаемого ствола шток *3* упирается в регулируемый вдоль оси упор *6* и останавливается, в то время как корпус шпалера еще продолжает движение влево. Своими клиновыми поверхностями шток *3* (см. рис. 1.25) выдвигает все щетки по радиусу на некоторый размер. После этого штанга *1* и шпалер *2* (см. рис. 1.26) перемещаются вправо. Происходит рабочий ход. Одновременно с поступательным движением шпалера, он и штанга вращаются. Сложение этих движений дает траекторию, соответствующую крутизне нарезов. Щетки, расположенные в корпусе шпалера с учетом этой крутизны, начинают скоблить поверхность канала заготовки. Из-за того, что режущие части щеток выполнены с передним углом 45°, происходит именно скобление – снятие микростружек. При выходе корпуса шпалера из ствола клин *3* своим крючком попадает в ловитель *8*, в то время, как штанга со шпалером еще продолжает движение вправо. Между щетками и клиновыми поверхностями штока образуется зазор. При холостом ходе шпалера (влево) щетки утапливаются и не снимают стружки.

Клин шпалера *3* встречает упор *6*, который за время двойного хода шпалера выдвигается вправо на величину рабочей подачи щеток для следующего рабочего хода шпалера. Выдвижение щеток за каждый двойной ход шпалера происходит благодаря тому, что храповой механизм *4*, *5* поворачивается и выдвигает упор *6* вправо на величину, соответствующую подаче резцовых щеток на необходимую глубину срезаемого слоя.

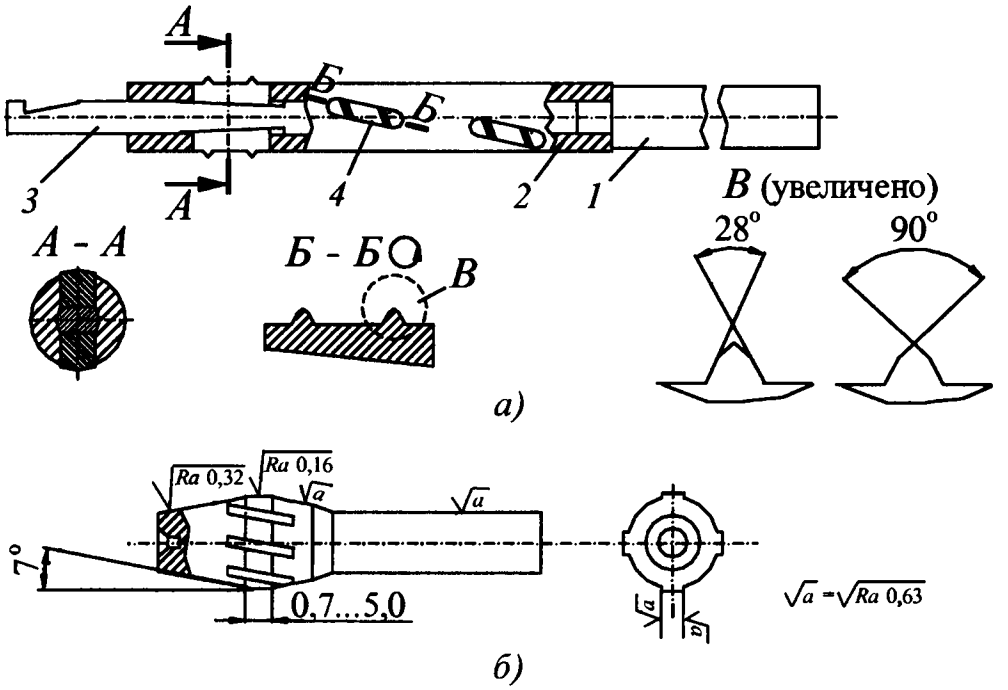


Рис.1.25. Схематическое изображение шпалера (*а*) и дорна (*б*) для нарезания малокалиберных стволов: *1* – штанга (тягло); *2* – корпус шпалера; *3* – шток подачи резцов на рабочий размер; *4* – резцы (щетки)

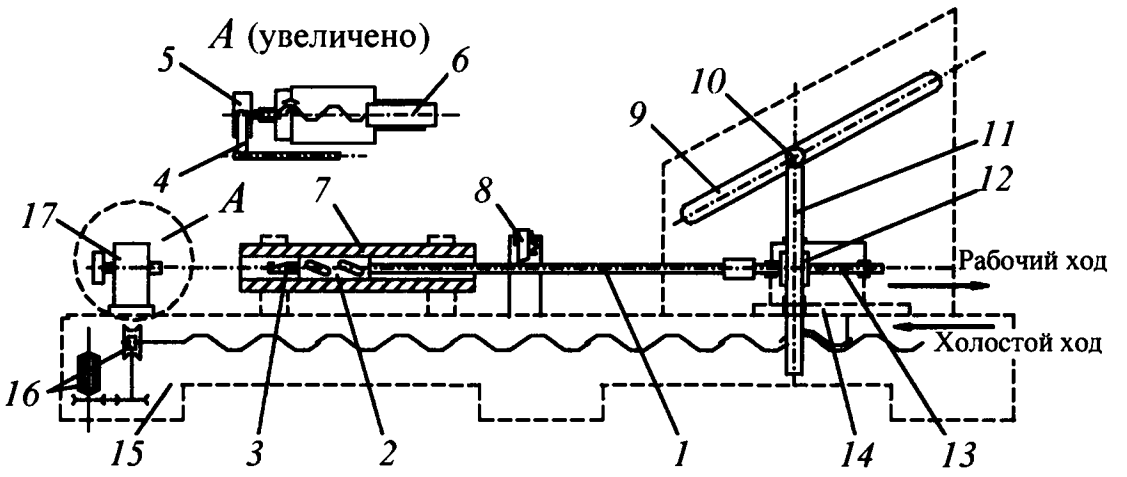


Рис. 1.26. Принципиальная схема шпалеровального станка:
1 – штанга; *2* – шпалер; *3* – клин шпалера; *4,5* – храповой механизм; *6* – упор; *7* – нарезаемый ствол; *8* – ловитель клина шпалера; *9* – копирная линейка; *10* – палец зубчатой рейки; *11* – зубчатая рейка; *12* – зубчатое колесо; *13* – шпиндель суппорта; *14* – суппорт; *15* – станина станка; *16* – привод подачи суппорта; *17* – механизм выдвижения клина шпалера

Такой цикл работы повторяется до получения нарезов необходимой глубины.

Работа шпалера происходит с подачей СОЖ следующих составов: растительное масло, или растительное с веретенным (1:1), или веретенное с рыбьим жиром (2:1).

Порядок режимов нарезания шпалером стволов винтовок калибром 7,62 мм из стали 50А следующий.

Длина ствола L = 750 мм, количество нарезов – 4, глубина нареза – $t_{нар}$ = 0,215 мм, ширина нареза $b_{нар}$ = 3,7 мм, скорость рабочего хода $v_{р.х}$ = 6,2 м/мин, скорость холостого хода $v_{х.х}$ = 12,4 м/мин, подача щетки по радиусу за один двойной ход $S_{дв.х}$ = 0,0042 мм, расход СОЖ – Q = 3 л/мин.

С учетом того, что после изготовления нарезов на полную глубину, производится 5...10 зачистных ходов, полное количество ходов должно составлять 55...60. При учете длины шпалера каждый ход равен примерно метру. Таким образом, общая длина рабочих ходов составляет порядка 60 метров. Столько же составляет длина холостых ходов. Следовательно, порядок времени нарезания одного ствола – около 15 минут.

Отсюда видно, что при массовом производстве операция нарезания шпалером с точки зрения потребного оборудования, цеховых площадей и операторов крайне дорога.

В качестве положительного момента при проведении шпалерования следует сказать, что качество канала ствола в связи с малыми силовыми и температурными воздействиями получатся хорошим. До некоторого времени стволы снайперских винтовок изготавливались именно таким методом.

1.2.2. Дорнование (дорнирование) каналов

Дорнование (дорнирование) каналов стволов возникло в связи с необходимостью резко поднять производительность изготовления нарезов.

Суть процесса чрезвычайно проста: через канал продавливается инструмент-дорн, несколько большего диаметра, чем канал. Причем, на дорне имеются выступы по числу нарезов с размерами и наклоном, соответствующими нарезам.

Дорн (см. рис. 1.25, *б*) изготавливается из твердых сплавов для стрелковых калибров и из инструментальных сталей – для пушечных.

При прохождении через канал дорн выдавливает профиль сразу всех нарезов. Скорость продавливания дорна через канал составляет для стрелковых стволов порядка 1 м/мин. Следовательно, затраты времени нарезания винтовочного ствола – менее минуты.

При внешней простоте, процесс дорнования осложняется тем, что удельные контактные давления столь велики, что даже при наличии жидкой смазки на поверхности канала и дорна образовываются налипы, которые выводят в брак как изделие, так и инструмент.

Процесс дорнования стал стабильным по качеству поверхности канала только после того, как канал был покрыт металлической (твердой) смазкой.

В качестве твердой смазки применяется подслой меди. Медь осаждается при проливке через канал (рис. 1.27, *а*) определенного количества (мерной кружкой) водного раствора медного купороса. Примерный состав раствора следующий: $CuSO_4$ – 12%; HCl – 7%; $SnCl_2$ – 1%; H_2O – 80%.

Из рис. 1.27, *а* видно, что ствольная заготовка *3* вставляется в отверстие стола верстака *4*, внутри которого находится сливная емкость *5*. Оператор проливает необходимый объем жидкости из кружки в канал заготовки, и она практически сразу же устанавливается на дорновальный станок и нарезается.

Следует отметить, что штанга *8* при дорновании сжимается и при выходе дорна из заготовки выбрасывает дорн вперед. Дорн попадает в ловитель *12*.

Однако, образовавшийся на поверхности канала подслой меди не может быть оставлен при дальнейшей эксплуатации ствола, т.к. канал неизбежно начнет корродировать. Следовательно, эту медь необходимо удалять.

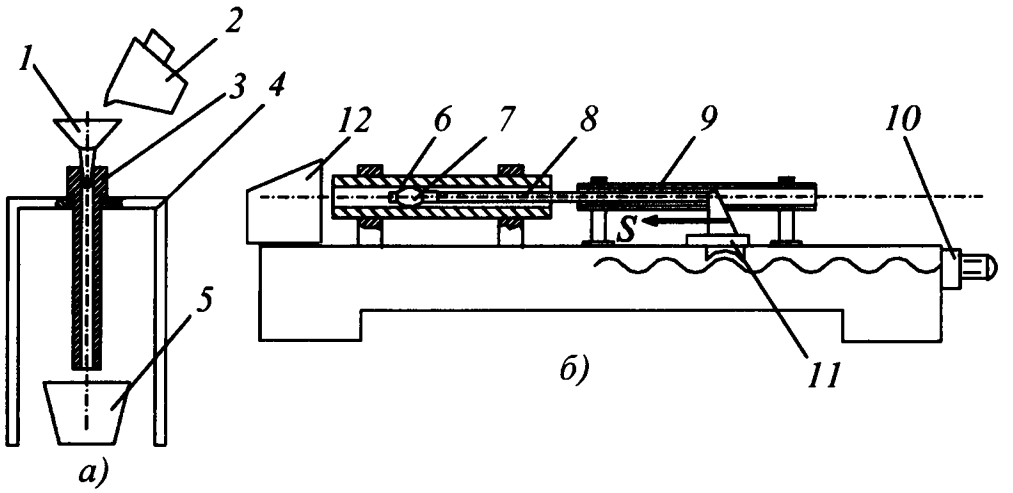


Рис. 1.27. Дорнование канала ствола: *а* – схема проливки через канал раствора медного купороса; *б* – схема дорнования; *1* – воронка; *2* – мерная кружка; *3* – ствольная заготовка; *4* – верстак; *5* – сливная емкость; *6* – ствольная заготовка; *7* – дорн; *8* – штанга; *9* – трубка; *10* – привод подачи; *11* – суппорт; *12* – ловитель дорна

Размеднение производится обычно химическим путем в следующей последовательности:

1. Стволы загружаются в ячейки стальных многоместных корзин.
2. Корзины со стволами обезжириваются в ванне с составом:
   - сода кальцинированная, г ..... 100...150
   - мыльный порошок, г ..... 10...15
   - вода, л 1
   - температура ванны ..... кипение
   - время выдержки, мин 30
3. Промывка в холодной проточной воде, мин ..... 1...2
4. Размеднение в составе:
   - хромовый ангидрид, г ..... 60...140
   - вода, л 1
   - температура ванны, °С ..... 60...80
   - время размеднения, мин ..... 40...60
5. Промывка в холодной воде, мин. ..... 1...2
6. Нейтрализация в ванне с составом:
   - сода кальцинированная, г ..... 20...30
   - вода, л 1
   - температура ванны ..... кипение
   - время выдержки, мин. ..... 1...2
7. Промывка в ванне с водой
   - температура ванны, °С ..... 70...80
8. Промывка в ванне с эмульсией .....
   - сода кальцинированная, г ..... 3...4
   - эмульсол технический, г ..... 30...40
   - вода, л 1
   - температура ванны, °С ..... 60...80
   - время выдержки, мин ..... 0,5...1

Таким образом, операция размеднения ствола занимает порядка 80...90 мин.

Но, благодаря тому что эта операция проводится одновременно со значительным количеством изделий, штучное время составляет доли минуты.

Операцию размеднения приходится производить в специальном цехе, причем цех этот экологически неблагополучен. Но, несмотря на необ-

ходимость создания такого цеха при массовом производстве изделий по сравнению с нарезанием шпалером, процесс выгоден для производства стволов оружия автоматического огня. Для высокоточных стволов процесс дорнования нарезов не применяется.

За счет обязательного наличия на наружной поверхности ствола конструктивных шеек пластическое деформирование канала сказывается на его цилиндричности.

1.2.3. Электрохимическое нарезание каналов

Электрохимическое получение нарезов основано на законе Фарадея, когда при пропускании постоянного тока через электролит происходит растворение материала анода в местах, не защищенных изоляторами.

Электролитом при обработке стальных деталей служит водный раствор поваренной соли NaCl.

В результате прохождения химических реакций на аноде (детали) образуется пассивирующая пленка гидрата окиси железа $Fe(OH)_3$, которая для непрерывности процесса должна удаляться потоком электролита.

Схема процесса электрохимического образования нарезов в стволах подвижным катодом показана на рис. 1.28.

Из схемы видно, что поток электролита проходит в катоде между изоляторами, выполненными по числу нарезов с шириной, равной полю нареза, и с необходимым углом их подъема. Для того, чтобы нарезы были изготовлены по всей длине канала с необходимой крутизной, катод при работе кроме осевого движения должен еще и вращаться.

Растворение материала анода на поверхности канала за время прохождения катодом любого сечения, в этом сечении приводит к образованию канавок определенной глубины. Глубина эта зависит от сочетания электрохимических параметров и скорости осевого перемещения катода и должна получаться за время прохождения катодом расстояния, равного его длине.

Следовательно, в начальный момент осевого перемещения катода глубина нареза будет равна нулю.

Предложение вести процесс при неподвижном катоде, выполненном в соответствии с профилем поверхности канала, кажется естественным. Но этого не делают по двум основным причинам: *первая* – из-за большой длины нарезов протекание электролита между изоляторами будет затруднено, что вызовет нестабильное ведение процесса, и, как следствие, неодинаковость размеров нарезов, так как. пассивирующая пленка будет удаляться с разных мест канала с различной скоростью. *Вторая причина* работы

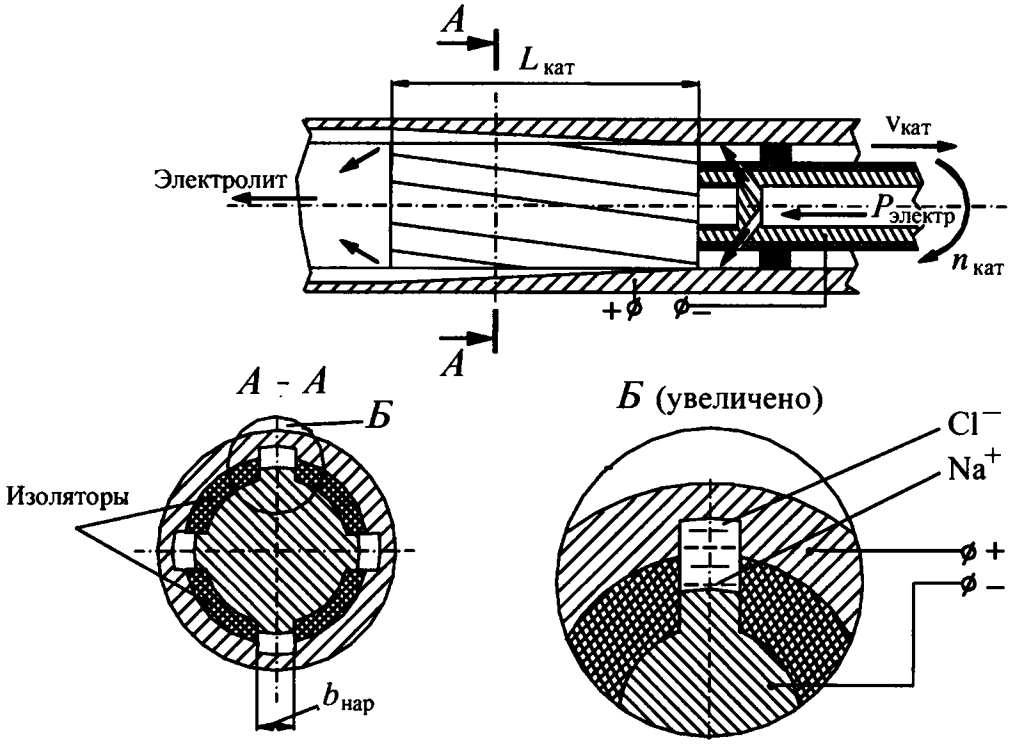


Рис. 1.28. Схема электрохимического получения нарезов подвижным катодом

только с подвижным катодом – очень большие потребные мощности питающих электроустройств, из-за большой рабочей площади неподвижного катода.

Например, для питания установки с неподвижным катодом при нарезании ствола калибром 30 мм и длиной 1200 мм требуется мощность порядка 140 кВт.

При напряжении питания в 10 В и плотности тока 20 А/см^2, ток должен быть около 14000 А, что потребует уникальных (практически невыполнимых) токоподводов.

Процесс электрохимического нарезания обычно проходит в два перехода.

Сначала канал обрабатывается катодом цилиндрическим, «по гладкому», а затем идет собственно процесс нарезания.

Припуск на обработку «по гладкому» для пушки калибром 23 мм составляет порядка 0,7...0,8 мм на диаметр.

Качество протекания процесса электрохимической обработки «по гладкому» и «нарезания» зависит от зазоров между обрабатываемой поверхностью канала и изоляторами катода. Например, для ствола калибром 23 мм эти зазоры равны 0,02 мм.

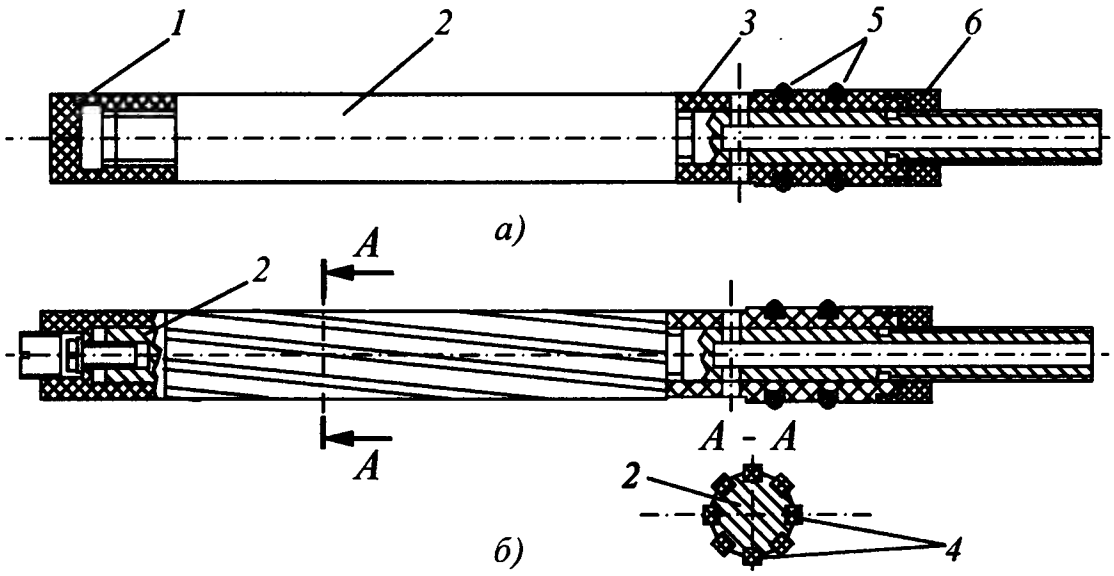


Рис. 1.29. Конструкции катодов для электрохимической обработки каналов стволов: *а* – катод для обработки канала «по гладкому»; *б* – катод для изготовления нарезов; *1*, *3* – изоляторная втулка; *2* – катод; *4* – изоляторы полей (выполненные с крутизной нарезов); *5* – уплотнительное кольцо; *6* – гайка

Конструкции катодов для этих переходов приведены на рис. 1.29.

Станками для электрохимического нарезания обычно являются модернизированные шпалеровальные станки (см. рис. 1.26), у которых сняты механизмы, связанные непосредственно с работой шпалера, и поставлены устройства токоподводов и подачи электролита.

Инструменты-катоды чаще всего изготавливаются из латуни, а изоляторы – из органического стекла. При штатном ведении процесса в катоде изнашиваются только изоляторы, поэтому в технологической карте даются предельные количества нарезаемых труб, после чего изоляторы переклеиваются и перешлифовываются.

Режимы электрохимической обработки каналов стволов:

– напряжение, В	10...15
– плотность тока, А/см^2	~ 20
– скорость протекания электролита у катода, м/с	8...12

Состав элетролита:

NaCl, %	20
H_2O, %	80

После проведения операции электрохимической обработки каналы заготовок тщательно промываются горячей и холодной водой и пассивирующей жидкостью состава:

– мыло хозяйственное, % ..... 10...15
– сода кальцинированная, % ..... 2...2,5
– вода, % ..... 81,5...88

В качестве примера ниже приводятся инструкции по электрохимической обработке канала ствола.

1.2.3.1. Технология электрохимической обработки канала «по гладкому»

1. Подготовка станка к работе.

1.1. Проверить нулевое положение стрелок приборов станка (вольтметра, амперметра, манометра в магистрали подачи электролита).

1.2. Проверить надежность крепления нагнетательного и сливного шлангов.

1.3. Проверить плотность электролита денсиметром (плотность электролита должна находиться в пределах 14...18 %). Проверка плотности производится ежедневно.

1.4. Шину с ползуном зачистить до блеска наждачной шкуркой. Проверить затяжку и чистоту всех токоподводящих соединений.

1.5. Замену электролита производить после обработки партии деталей в количестве 50 шт.

При получении некачественной поверхности при обработке электролит заменяется независимо от количества обработанных труб.

2. Порядок процесса нарезания.

2.1. Протереть канал марлевым тампоном.

2.2. Замерить индикаторным нутромером диаметр канала. В соответствии с полученными размерами выбирается величина силы тока (табл. 1.3).

1.3. Значения силы тока в зависимости от фактического диаметра канала при электрохимической обработке «по гладкому»

Диаметр канала, мм	22,36	22,38	22,40	22,42	22,44	22,46
Ток, А	1036... 1050	1008... 1022	980... 994	952... 966	924... 938	896... 910

Диаметр канала, мм	22,48	22,50	22,52	22,54	22,56
Ток, А	868...882	840...854	812...826	784...798	756...770

Диаметр канала, мм	22,58	22,60	22,62	22,64	22,66
Ток, А	728...742	700...714	672...686	644...658	616...630

ЭХО гладкого канала производится катодом с диаметром передней направляющей 22,38...22,63 мм, диаметр задней направляющей – 22,63 мм.

Величина рабочей подачи – 82 мм/мин.

2.3. Надеть переднюю насадку соосно каналу с помощью установочного калибра-пробки.

2.4. Протереть канал ершом, смоченным в авиационном бензине.

2.5. Протереть канал марлевыми концами, смоченными в этиловом спирте.

2.6. Установить ствол с насадкой в приспособление станка передней частью в шпиндель.

2.7. Снять с катода заднюю направляющую и смазать переднюю направляющую глицерином.

Ввести катод в канал и установить начало рабочей части катода на одном уровне с задним торцем ствола.

2.8. Надеть на катод заднюю направляющую и надеть на ствол заднюю насадку.

2.9. Включить возбудитель генератора, насос подачи электролита и довести давление электролита до 1...16 МПа. Температура электролита должна быть в пределах 8...45° С.

При нагреве электролита свыше 45°С включить змеевик водяного охлаждения.

2.10. Включить генератор и установить реостатом напряжение холостого хода 7...17 В в зависимости от температуры электролита.

2.11. Включить одновременно редуктор подачи катода и контактор постоянного тока.

3. Порядок регулирования процесса.

3.1. Во время вхождения катода в канал ствола на полную его длину поддерживать рабочее напряжение 7...15 В (на 2 В ниже напряжения холостого хода). При этом ток должен возрастать от нуля до величины, приведенной в табл. 1.3.

3.2. При дальнейшем перемещении катода по каналу реостатом поддерживается ток, указанный в табл. 1.3.

3.3. При выходе катода из канала поддерживается установившееся напряжение процесса, при этом ток уменьшается до нуля.

3.4. Выключить возбудитель, при этом отключаются все механизмы станка от сетей постоянного и переменного тока.

3.5. Снять заднюю и переднюю насадки со ствола, снять с катода заднюю направляющую, протереть катод тампоном, смоченным этиловым спиртом. Снять ствол со станка и промыть канал в ваннах.

1.2.3.2. Технология электрохимической обработки нарезного канала

1. Подготовка станка к работе.

1.1 Проверить нулевое положение стрелок приборов станка (вольтметра, амперметра, манометра в магистрали подачи электролита).

1.2. Проверить надежность крепления нагнетательного и сливного шлангов.

1.3. Проверить плотность электролита денсиметром (плотность электролита должна находиться в пределах 14...18%). Проверка плотности производится ежедневно.

1.4. Шину с ползуном зачистить до блеска наждачной шкуркой. Проверить затяжку и чистоту всех токоподводящих соединений.

1.5. Замену электролита производить после обработки партии деталей в количестве 50 шт. При получении некачественной поверхности при обработке электролит заменяется независимо от количества обработанных труб.

2. Порядок процесса нарезания.

2.1. Протереть канал марлевыми концами.

2.2. Произвести обмер канала партии труб подлежащих нарезанию. Величины рабочих токов в зависимости от размера канала даны в табл. 1.4.

1.4. Значения силы тока в зависимости от фактического диаметра канала при электрохимической обработке нарезов

Диаметр канала, мм	23,10...23,12	23,12...23,14	23,14...23,16
Рабочий ток, А	580...560	560...540	540...520

2.3. Надеть переднюю насадку соосно каналу с помощью установочного калибра-пробки.

2.4. Протереть канал ершом, смоченным в авиационном бензине.

2.5. Протереть канал марлевыми концами, смоченными в этиловом спирте.

2.6. Установить ствол с насадкой в приспособление станка дульной частью в шпиндель.

2.7. Смазать катод глицерином и ввести его в канал так, чтобы его рабочая часть была на одном уровне с казенным торцом ствола.

2.8. Надеть на катод заднюю направляющую и надеть на ствол заднюю насадку.

2.9. Включить возбудитель генератора, насос подачи электролита и довести давление электролита до 1...1,6 МПа. Температура электролита должна быть в пределах 8...45° С.

При нагреве электролита свыше 45°С включить змеевик водяного охлаждения.

2.10. Включить генератор и установить реостатом напряжение холостого хода 10...17 В в зависимости от температуры электролита.

2.11. Включить одновременно редуктор подачи катода и контактор постоянного тока.

3. Порядок регулирования процесса

3.1. Во время вхождения катода в канал ствола на полную его длину поддерживать рабочее напряжение 8...15 В (на 2 В ниже напряжения холостого хода). При этом ток должен возрастать от нуля до величины, приведенной в таблице 1.4.

3.2. При дальнейшем перемещении катода по каналу реостатом поддерживается ток, указанный в таблице 1.4.

3.3. При выходе катода из канала поддерживается установившееся напряжение процесса, при этом ток уменьшается до нуля.

3.4. Выключить возбудитель, при этом отключаются все механизмы станка от сетей постоянного и переменного тока.

3.5. Снять заднюю и переднюю насадки со ствола.

3.6. Снять ствол со станка и промыть канал в ваннах.

3.7. Протереть катод тампоном, смоченным этиловым спиртом.

Особо следует отметить задачу необходимости получения стволов малого калибра с нарезами переменной крутизны.

Рассмотренные ранее схемы нарезания каналов (шпалерование, дорнование, электрохимическое нарезание и радиальная ковка) не позволяют получать переменную крутизну нарезов.

Эта задача может быть решена реально для калибров более 15... 16 мм применением строгальной головки с одним резцом. Процесс этот будет крайне непроизводительным, так как каждый нарез должен простраги ваться индивидуально.

В инструментальную головку таких калибров невозможно конструктивно вписать несколько резцов.

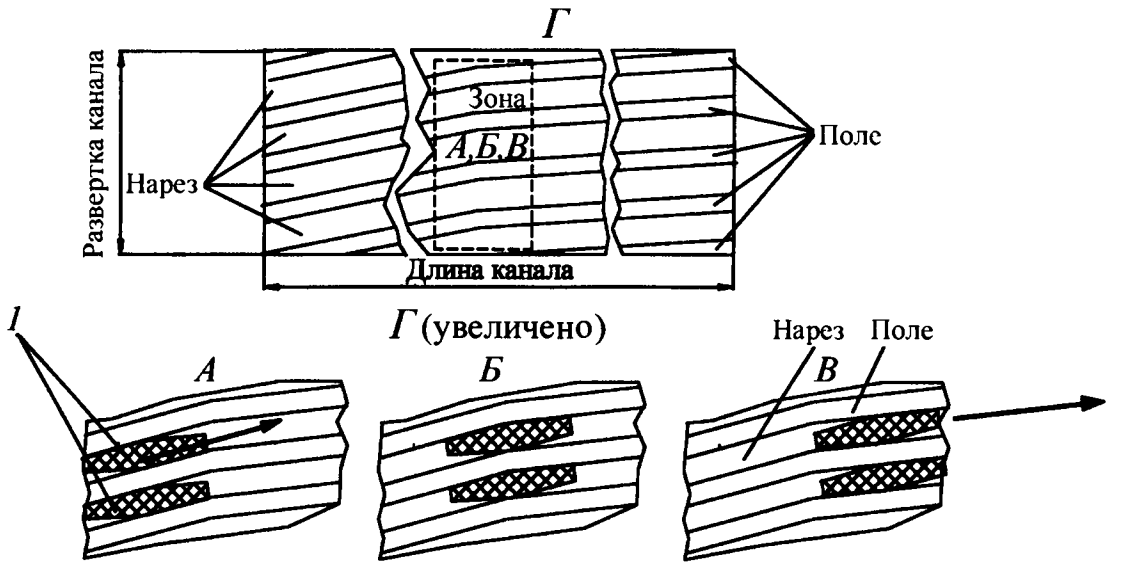


Рис. 1.30. Схема электрохимического получения нарезов переменной крутизны: *1* – рабочие ламели катода

Для стрелковых калибров возможно только применение шпалера с одним режущим гребнем на резцовой щетке, что потребует весьма больших затрат времени для изготовления одного ствола, а для серийного, а тем более массового производства такая схема нереальна.

Представляет интерес работавшая в 50-60-ых годах на одном из заводов установка для электрохимического нарезания каналов автоматических пушек калибром 23 мм.

Главной особенностью этой установки был катод, рабочие ламели которого были не прямоугольными, а ромбовидными пластинами.

Схема нарезания канала с переменной крутизной показана на рис. 1.30.

При рассмотрении на схеме в зонах *А*, *Б*, *В* (зоны изменения крутизны нарезов) положения ромбовидных ламелей очевидна возможность обработки криволинейного нареза. Безусловно, в этих зонах благодаря копиру, или приводу программного управления, должна меняться скорость вращения катода при его постоянной осевой подаче.

1.2.4. Протягивание нарезов

Протяжки для изготовления нарезов (рис. 1.31) очень похожи на протяжки для получения гладких каналов (см. рис. 1.17, *а*) с кольцевыми зубьями.

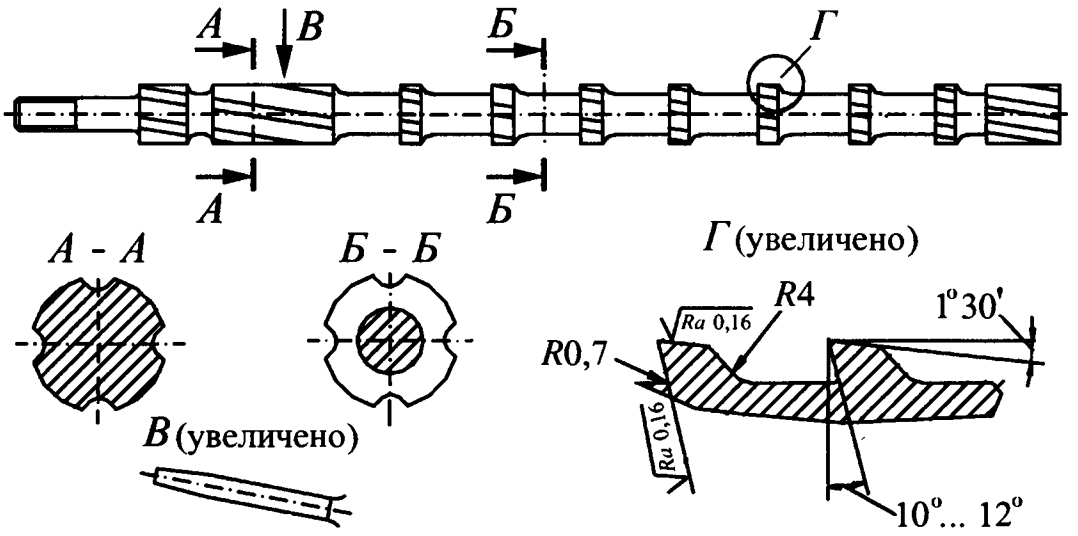


Рис. 1.31. Протяжка для изготовления нарезов

Отличительной особенностью их конструкции являются изготовленные на каждом зубе выступы, соответствующие профилю нарезов. Эти выступы вдоль оси протяжки выполнены с углом наклона нарезов и с соответствующим подъемом на зуб.

Так как протягивание происходит несколькими протяжками, предусматриваются на передней направляющей каждой протяжки заходные скосы (стрелка *В*, см. рис. 1.31).

Кинематика протягивания нарезов кроме продольного движения инструмента должна иметь вращение заготовки или протяжки в соответствии с крутизной нарезов.

Порядок режимов протягивания тот же, что и при протягивании канала.

1.3. Изготовление патронников

В случае радиальной ковки каналов малокалиберных труб патронник получается в процессе ковки (см. рис. 1.21, *б*).

В остальных случаях патронник изготавливается развертыванием комплектом фасонных разверток.

Развертки в зависимости от обрабатываемого места патронника имеют свою конфигурацию и количество зубьев.

На рис. 1.32 показаны контуры разверток для получения большого патронника (рис. 1.32, *а*) и малого патронника (рис. 1.32, *б*).

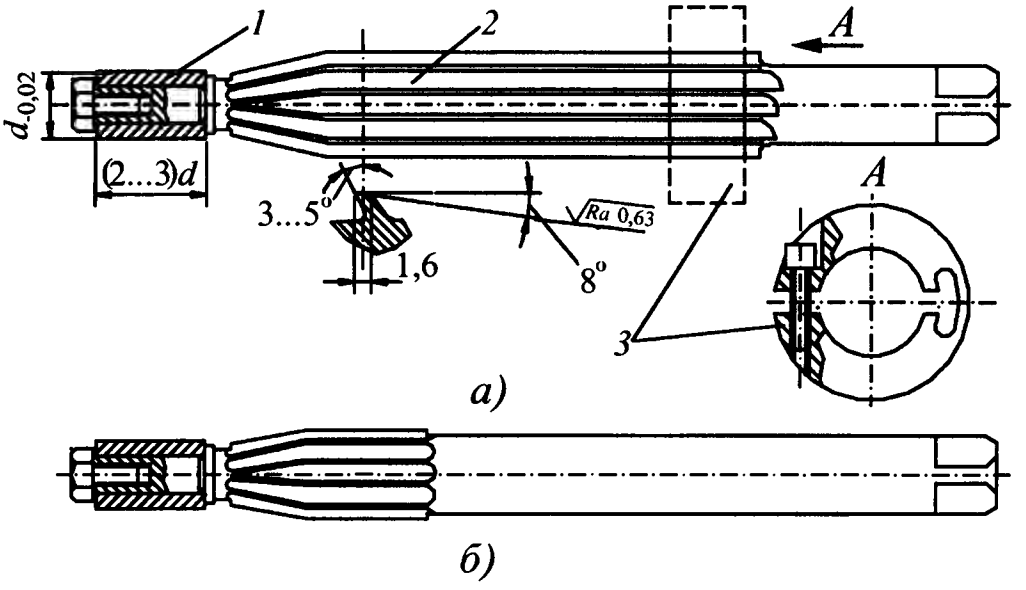


Рис. 1.32. Конструкции разверток для обработки большого (*а*) и малого (*б*) патронников:
1 – направляющая втулка; *2* – развертка; *3* – ограничительное кольцо

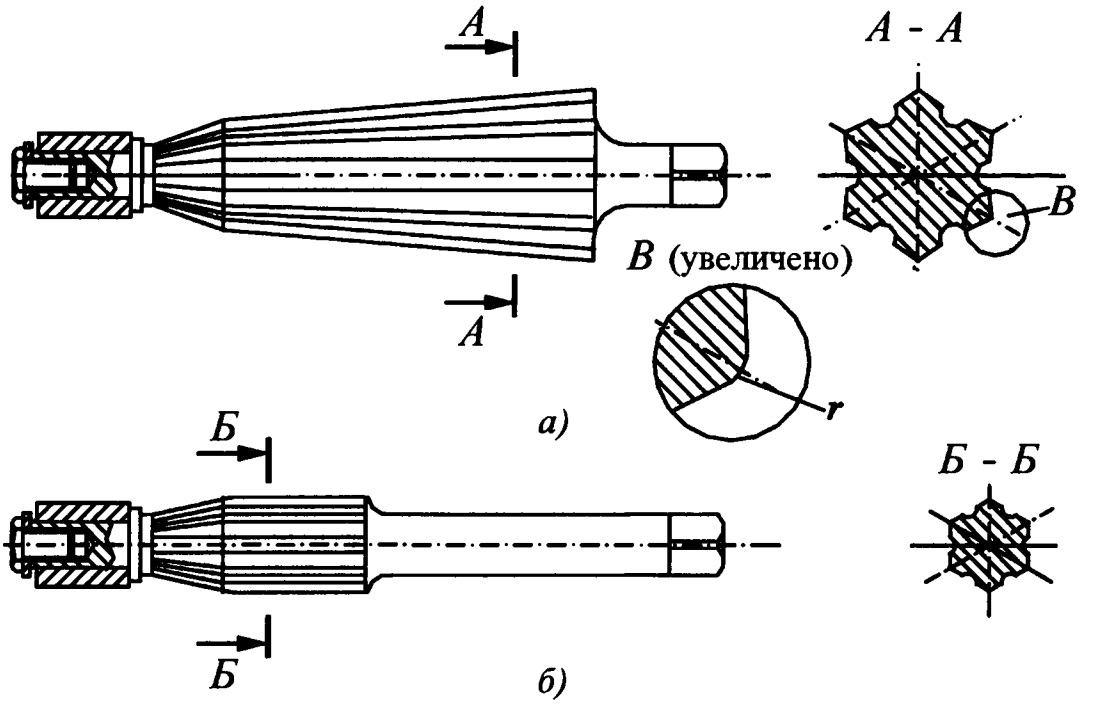


Рис. 1.33. Конструкции выглаживающих разверток для патронников:
а – большого; *б* – малого

Для обеспечения соосности патронника с каналом все развертки имеют направляющие втулки. В зависимости от номера операции развертывания патронника они бывают стальными, бронзовыми или текстолитовыми (на последних операциях, чтобы не попортить канал в районе пульного входа).

Развертки изготавливаются из инструментальных сталей типа У12А, 9ХС.

В комплекте на патронник развертки отличаются количеством зубьев (на предварительных операциях число зубьев минимально – два, но за этот счет делаются максимальные карманы для размещения стружки).

Развертывание идет обязательно с СОЖ, причем, практически всегда эта СОЖ представляет собой растительное масло для обеспечения необходимой шероховатости.

Кинематика процесса развертывания проста: труба, закрепленная в шпинделе станка, вращается, а развертка подается в канал. Операция на отечественных заводах в большинстве случаев ручная (подачу развертки в канал осуществляет оператор в соответствии со своим опытом).

Особо следует отметить конструкцию разверток для финишной операции, когда необходимо обеспечить требуемую шероховатость патронника. Для этого применяются так называемые «выглаживающие» развертки (рис. 1.33).

Их особенностью является отсутствие острых кромок на зубьях. Кромки зубьев имеют радиусное сопряжение с весьма строгой шероховатостью.

И все же, после выглаживающих разверток патронник полируется либо притиром с мелкозернистой шкуркой и маслом, либо обрабатывается полировниками, с набором кожаных полировальных дисков, смоченных абразивной мелкозернистой суспензией (рис. 1.34).

Весьма специфической операцией обработки патронника является обработка в нем канавок Ревелли.

Канавки эти наиболее часто изготавливаются в автоматических высокотемпных пушках с мощными зарядами, с целью облегчить экстракцию гильзы за счет обжатия ее дульца давлением газов канала.

Поперечные размеры канавок относительно невелики, они измеряются десятыми долями миллиметра, но в продольном направлении они идут вдоль образующей патронника примерно до середины первого конуса, поэтому механическая обработка их на копировально-строгальных станках производилась с большими трудностями.

Хорошее технологическое решение было найдено, когда канавки стали изготавливать электрохимическим способом и сразу все.

Для этого применяется катод, показанный на рис. 1.35.

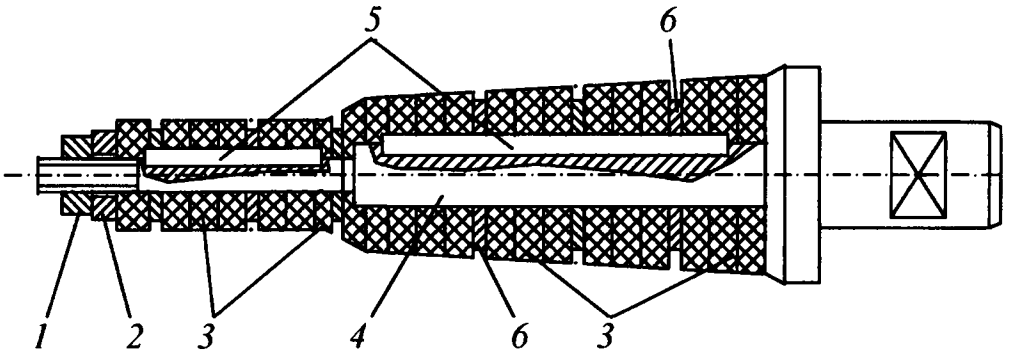


Рис. 1.34. Полировник для полирования патронника:
1 – гайка; *2* – шайба; *3* – полировальные диски; *4* – основание; *5* – шпонки; *6* – проставочные диски

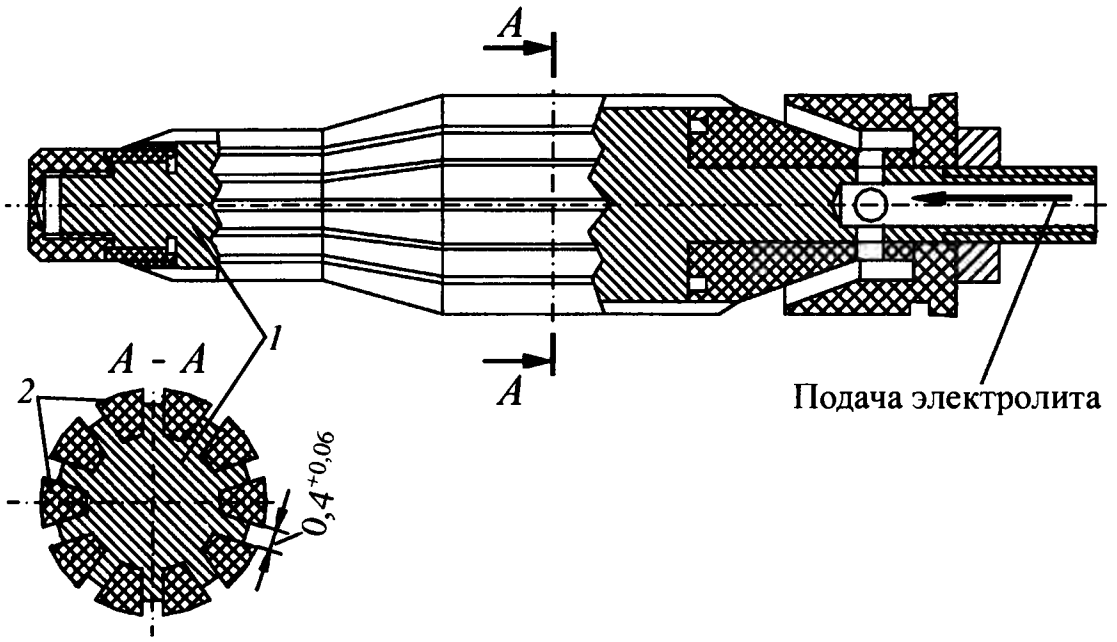


Рис. 1.35. Катод для изготовления канавок Ревелли:
1 – корпус катода; *2* – изоляторы из оргстекла

1.4. Свинцевание канала

После операции нарезания и хромирования стволы стрелковых калибров должны быть доведены по шероховатости до зеркального блеска.

Эта операция осуществляется так называемым свинцеванием или, как ее еще называют, шустованием.

Инструментом (рис. 1.36) служит шомпол *2* с насаженной на конец головкой *1* из свинца. Эту головку производственники называют «шустом».

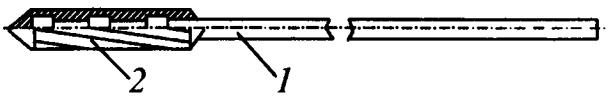


Рис. 1.36. Свинцовый шуст для полирования канала ствола:
1 – стальной шомпол;
2 – свинцовый шуст

Шуст по диаметру выполняется в размер калибра ствола, а по длине – около десяти калибров. Шуст с усилием прокатывается по плоскости, на которой насыпан абразивный порошок. При этом, абразивные зерна шаржируют цилиндрическую поверхность шуста и при возвратно-поступательном перемещении шуста по каналу – полируют его.

В процессе работы шуст осаживается и для восстановления его работоспособности оператор тесаком делает на его поверхности насечки крест-накрест.

1.5. Хромирование канала и патронника

Хромирование канала и патронника в автоматическом оружии достаточно широко распространено с целью повышения живучести и длительности хранения оружия.

Хромирование производится потоком подогретого до температуры 50...60 °С электролита. Примерный его состав:

хромовый ангидрид CrO_3, г	150
серная кислота H_2SO_4, г	1,5
вода H_2O, л	1

Плотность тока составляет 30...35 А/дм^2. Электролит протекает в зазоре между катодом *4* (каналом ствола) и анодом *5* (рис. 1.37).

Толщина хромового покрытия канала 40...150 мкм в зависимости от калибра.

Равномерность осаждения хрома существенно влияет на эксплуатационные характеристики канала. Она зависит от качества подготовки канала под хромирование, от стабильности выдерживания режимов процесса, от точности расположения анода относительно оси канала. При внецентренном расположении анода в месте меньшего зазора толщина хромового покрытия получается большей.

При разной толщине слоя хрома стволы подвергаются расхромировке (обратной полярностью) и повторному покрытию.

Аноды изготавливаются из стальной проволоки с дополнительными покрытиями. Диаметр анода для стволов калибром 7,62 мм равен 2,5 мм, а для стволов калибром 14,5 мм – 4 мм.

Процесс хромирования подразделяется на три этапа.

Первый этап – подготовительный:

– чистка каналов;

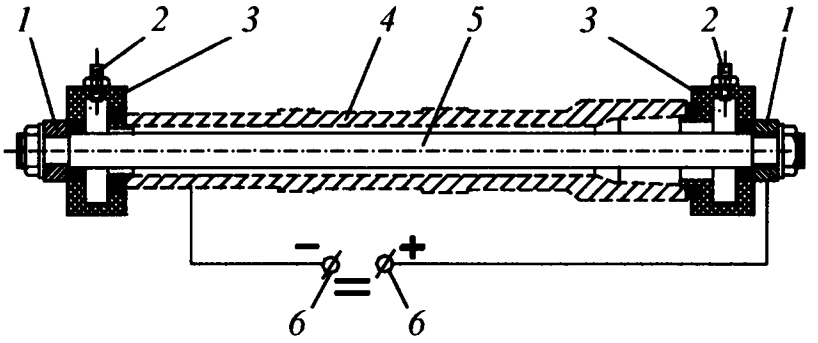


Рис. 1.37. Схема хромирования канала ствола:
1 – гайка; *2* – штуцер подвода электролита; *3* – коробка; *4* – ствольная труба (катод); *5* – анод; *6* – клеммы подвода электропитания

– рассортировка каналов по группам диаметров;
– обезжиривание в щелочной ванне;
– травление;
– промывка в проточной воде;
Второй этап – собственно хромирование.
Третий этап – заключительный:
– промывка в проточной воде;
– нейтрализация (ванна – 5...8 % водный раствор углекислой соды – с температурой порядка 50 °С).

После хромирования канал доводится свинцеванием до необходимой шероховатости.

Для избежания явления водородной хрупкости слоя хрома необходимо удалить из него водород. Это достигается нагреванием стволов до 150...300 °С (стволы с тонкими слоями хрома нагреваются до меньшей температуры).

1.6. Контроль канала и патронника

Контроль канала стволов осуществляется по нескольким параметрам:
– диаметру (калибру) ствола;
– цилиндричности;
– диаметру нарезов;
– прямолинейности канала;
– разностенности;
– шероховатости поверхности.
Контроль патронника осуществляется по размерам и шероховатости.

1.6.1. Контроль диаметра канала

Контроль диаметра канала проще всего осуществляется в районе дульного среза калибром-пробкой ПР-НЕ. Но этот контроль не дает представ-

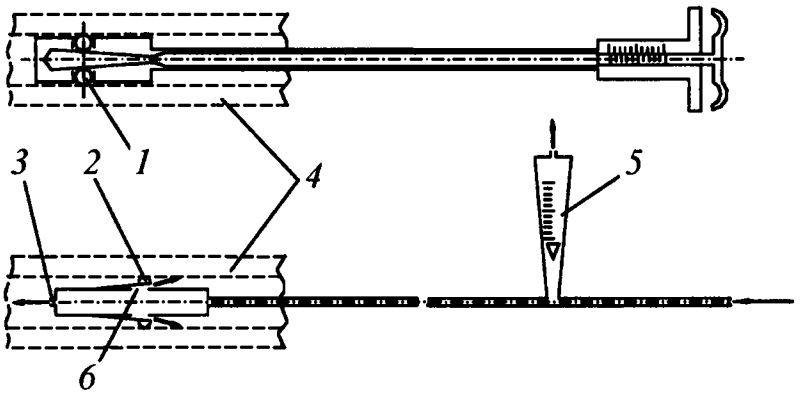


Рис. 1.38. Схемы устройства механической и пневматической звездок для замера диаметра каналов стрелковых калибров:
1 – колки механической звездки; *2* – колки на пружинных клапанах; *3* – постоянно открытое сопло; *4* – обмеряемая деталь; *5* – ротаметр; *6* – сопла пружинных клапанов

ления о размере канала на всей его длине. Для такого контроля нужны приборы, которые проходят по всей длине канала и носят название «звездки».

В [1] была приведена конструкция ручной механической звездки тянущего типа (механический клиновой прибор) для обмера каналов стволов стрелковых калибров. Схема ее, практически, повторяет конструкцию механических звездок для более крупных калибров, за исключением того, что колками (измерительными наконечниками) малой звездки являются калиброванные стальные шарики от подшипников. Широкого применения такие звездки на производстве не нашли.

Кроме механических, создавались и опытные пневматические звездки, которые также не нашли широкого применения, но как вариант решения задачи обмера они могут быть полезны.

Схемы механической и пневматической звездок для обмера каналов малых диаметров приведены на рис. 1.38, и их работа достаточно понятна из этих схем. Механическая звездка имела нониусный отсчет размеров, а размеры канала при изменении положения пружинных клапанов пневматической звездки изменяли расход подаваемого сжатого воздуха, который измерялся ротаметром.

1.6.2. Контроль цилиндричности канала

Контроль цилиндричность канала определяется замерами в двух взаимно перпендикулярных диаметрах.

Некоторые очень опытные контролеры производят замер цилиндричности канала малого калибра продавливанием шомполом через канал свинцовой пульки, и по усилию на шомполе судят, в каких зонах есть бочкообразность или корсетность канала.

Диаметры каналов от 27 мм в настоящее время могут успешно замеряться приборами, разработанными в [9]. В частности, предлагаемый прибор «Пика-Д5» позволяет измерять диаметры каналов вводимой в канал измерительной маркой, которая имеет измеритель глубины ее расположения в канале в момент замера текущего диаметра.

Прибор снабжен питающе-регистрирующим блоком. Некоторые технические характеристики прибора:

– диапазон измеряемых диаметров каналов, мм.....27...70
– максимальная длина контролируемого канала, мм.....6000
– диапазон измерений относительно номинального диаметра, мм 1,5
– погрешность прибора, мм.....0,01

Размер нарезов в дульной части измеряется пробками, рис. 1.39, *а*.

1.6.3. Контроль прямолинейности канала

Контроль прямолинейности канала чаще всего производится калибром-валиком *2* (см. рис. 1.39, *б*), который производственники называют «калибр-летун».

Калибр выполнен из стали с достаточно строгими допусками по диаметру.

При прохождении этого калибра через канал под действием собственного веса труба считается годной.

Требования по точности изготовления таких калибров достаточно высокие.

Например, для трубы 23-х мм пушки перед обработкой канала ЭХО «по гладкому» при диаметре канала 22,35 мм калибр-летун длиной 500 мм имеет диаметр 22,31 мм, а калибров-летунов для проверки прямолинейности ствола АК даже три: диаметрами 7,587; 7,614; 7,633 мм и длиной – 300 мм. Проверка этими калибрами стволов производится после их замеров калибрами длиной 70 мм и диаметрами 7,633 и 7,658 мм.

Стволы рассортировываются на три группы:

1-я группа – калибр 7,633 мм не проходит;

2-я группа – калибр 7,633 мм проходит, а калибр 7,658 мм не проходит;

3-я группа – калибр 7,658 мм не проходит.

В этих группах длинные калибры соответственно для каждой группы должны проходить под собственным весом.

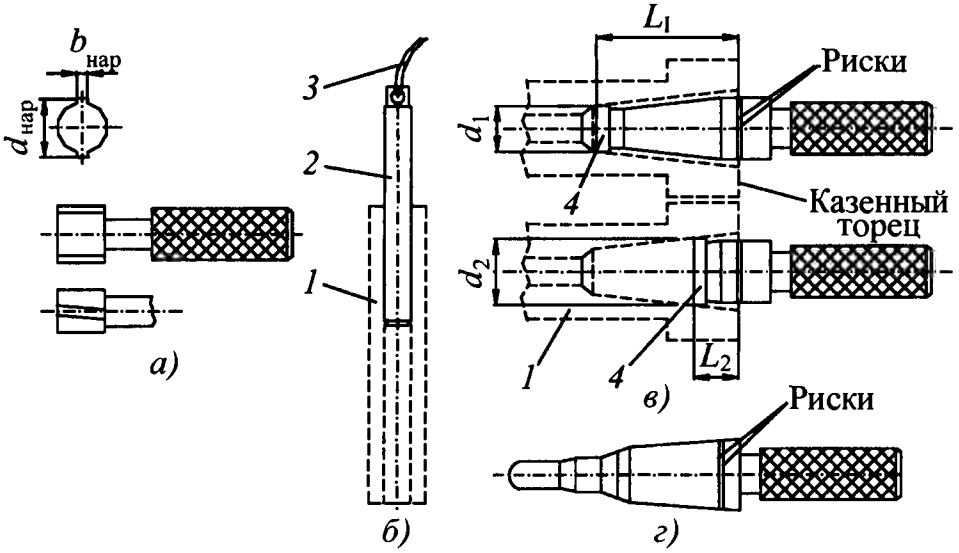


Рис. 1.39. Схема устройств для контроля канала ствола и патронника:
а – схема калибра-пробки для замера нарезов;
б – схема проверки прямолинейности канала калибром-валиком;
в – схема обмера конусов патронника; *г* – схема калибра «на вхожесть»;
1 – изделие; *2* – калибр-валик; *3* – шнур; *4* – измерительный диск калибра

В последние десять–пятнадцать лет в [9] проводятся весьма перспективные работы по автоматизированному замеру непрямолинейности каналов глубоких отверстий при помощи оптико-механических приборов «Пика-Н7».

Принципиальная схема прибора дана на рис. 1.40.

Работа прибора основана на использовании луча лазера в качестве опорной оси. При отклонении этого луча от действительного центра обмеряемого сечения канала прибор выдает результат фактического отклонения.

Работа прибора происходит в последовательности: на ложементы измерительного стенда устанавливается обмеряемое изделие и в канал вводится марка с призмой *5*. При включении прибора луч лазера через систему линз и призм идет в измерительную марку и, отражаясь, приходит на фотоприемник *13*, который выдает в виде электросигнала величину положения центра действительной оси канала в текущем сечении. Сигнал усиливается в усилителях *14*, *15* и подается на микроприводы *9* и *10*, которые смещают пентапризму на пружинном шарнире до обнуления электросигнала. Смещение пентапризмы регистрируется датчиками *11* и *12*. Показания *16* этих датчиков и будут величинами непрямолинейности действительной оси канала и могут быть использованы необходимым образом, в частности, занесены в паспорт изделия.

Общий вид прибора «Пика-Н7» показан на рис. 1.41.

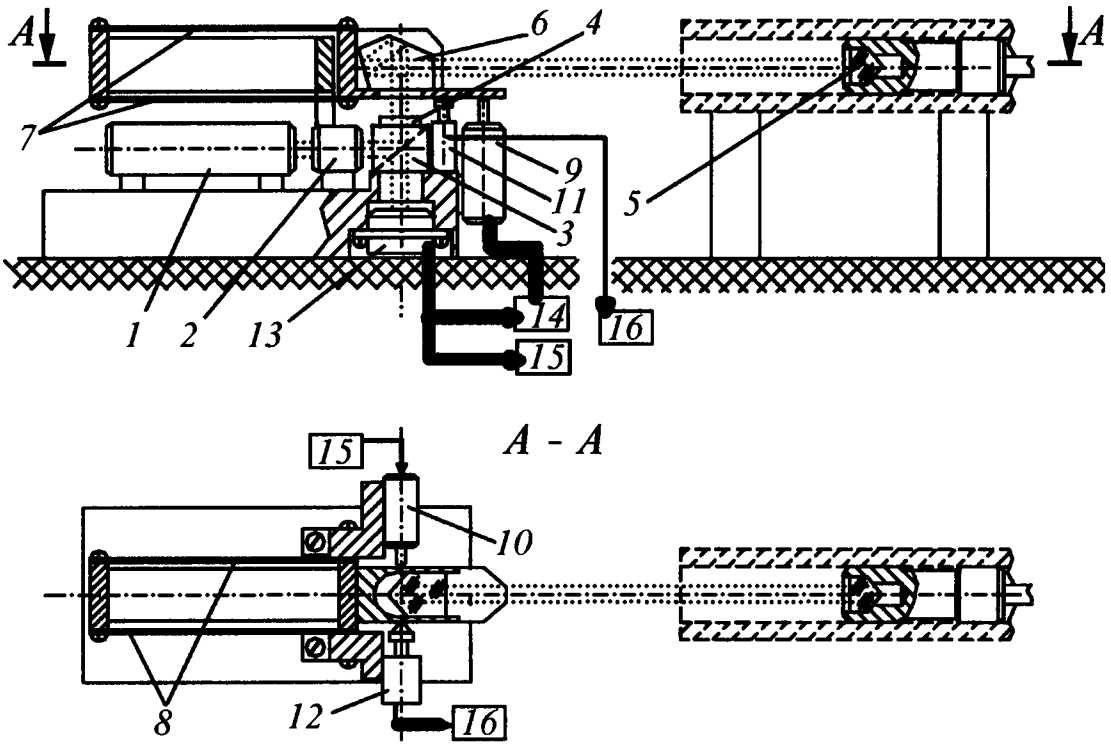


Рис. 1.40. Оптико-механическая схема прибора «Пика-Н7»:
1 – лазер; *2* – конденсатор; *3* – разделительная призма; *4* – поляризационная пластина; *5* – пирамидальная призма измерительной марки; *6* – пентапризма; *7*, *8* – пластинчатые пружины плоскопараллельного шарнира; *9*, *10* – микроприводы; *11*, *12* – датчики соответственно вертикального и горизонтального перемещения пентапризмы; *13* – фотоприемник; *14*, *15* – усилители сигналов фотоприемника; *16* – результаты замера

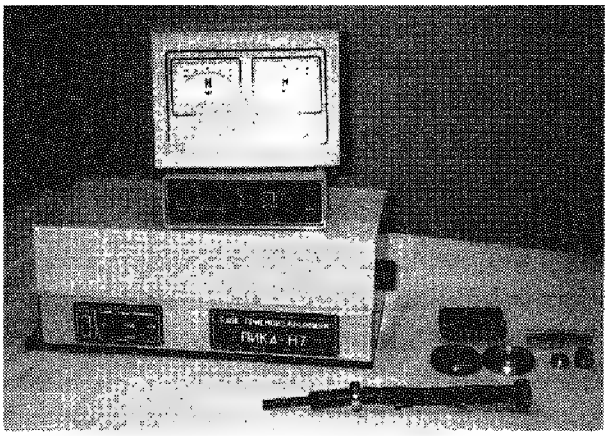


Рис. 1.41. Комплект прибора «Пика-Н7»

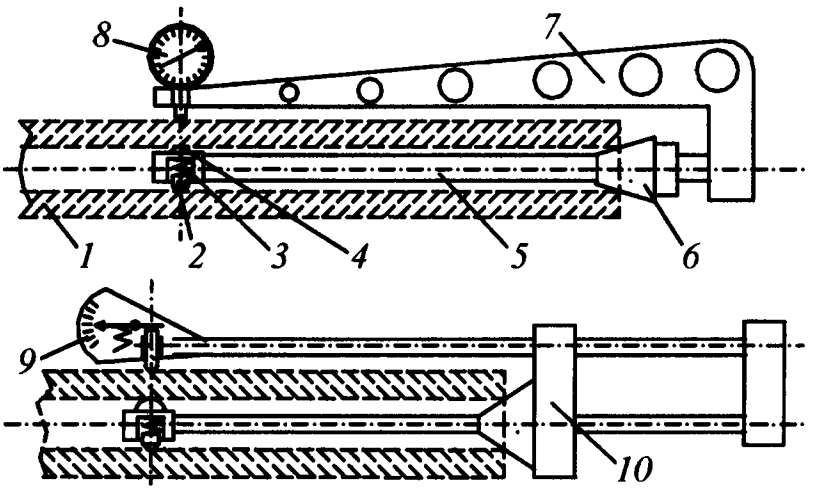


Рис. 1.42. Схемы скоб для измерения разностенности ствольных труб:
1 – обмеряемая труба; *2* – поджимной наконечник; *3* – пружина; *4* – внутренний измерительный наконечник; *5* – внутренняя штанга скобы; *6* – центрирующий конус; *7* – наружная штанга скобы; *8* – часовой индикатор; *9* – рычажный указатель размера; *10* – траверса регулировки места обмера

В комплектацию прибора входят:
– оптико-механический измерительный блок;
– измерительная марка;
– питающе-регистрирующий блок;
– компьютер с печатающим устройством.
Основные технические возможности прибора:
– минимальный диаметр обмеряемого канала, мм.....8
– диаметры сменных центрирующих колец марки, мм.....27, 29, 32, 38, 44, 57, 70, 80, 90,105
– максимальная длина обмеряемого канала, мм 6000
– диапазон измерений в горизонтальной и вертикальной плоскостях, м.....± 4
– погрешность прибора, мм.....0,04

1.6.4. Измерение разностенности трубы

Измерение разностенности трубы заготовки и готовой ствольной трубы должно производиться специальными приборами, чаще всего в виде скоб с длиной рабочей части до 500 мм.

Схемы таких скоб показаны на рис. 1.42.

Скоба с индикаторным отсчетом применяется для пушечных труб, а с рычажным – для стрелковых.

1.6.5. Контроль шероховатости

Контроль шероховатости поверхности канала в малокалиберных системах производится визуально, и качество такого контроля в основном зависит от квалификации работника ОТК.

1.6.6. Контроль размеров и крутизны нарезов

Размер нарезов в дульной части измеряется пробками (см. рис. 1.39, *а*), а измерение крутизны нарезов производится прибором, конструкция которого показана на рис. 1.43.

Работа прибора заключается в следующем: в дульный конец канала обмеряемой трубы *7* плотно вдвигается конус прибора. Этим достигается неподвижность прибора и трубы. Калибр *6* входит своими выступами в изготовленные нарезы и при вдвигании штанги *1* поворачивает ее в соответствии с крутизной нарезов. Стрелка *3* со шпонкой *2* при вдвигании штанги на определенную величину показывает угол подъема нарезов на лимбе *4*.

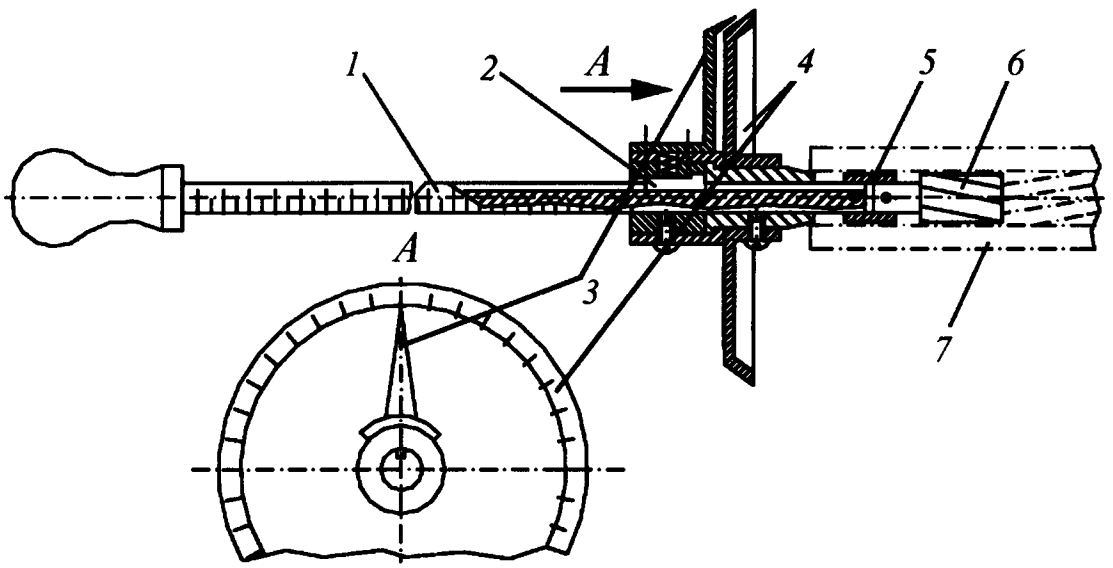


Рис. 1.43. Прибор для измерения крутизны нарезов после их изготовления:
1 – штанга с делениями по длине; *2* – шпонка; *3* – стрелка;
4 – лимб; *5* – муфта для крепления сменных калибров;
5 – калибр-пробка; *7* – обмеряемая труба

1.6.7. Контроль размеров и шероховатости патронника

Контроль размеров патронников у малокалиберных систем производится жесткими калибрами. Принцип замера конусности конусов патронника состоит в том, что два диска строго определенного диаметра вводятся поочередно в обмеряемый конус до упора (см. рис. 1.39, *в*), и по рискам на калибре оценивается расстояние измерительного диаметра этих дисков до казенного среза ствола. При положении казенного торца в пределах рисок на обоих калибрах обмеряемый конус считается выполненным правильно, т.к. диски дают величины истинных диаметров патронника (d_1, d_2), а риски – базовую длину (L_1–L_2), на которой произведено измерение. Так же замеряются и другие конуса патронника.

Оценка шероховатости патронника производится визуально или при помощи слепка, чаще всего из расплавленной серы.

Слесарь, дорабатывающий патронник, затыкает канал ствола ватным пыжом *1* (рис. 1.44, *а*) и заливает в патронник расплавленную серу, дает ей застыть, выталкивает шомполом полученный слепок и предъявляет его вместе со стволом контролеру.

При оценке качества изготовления патронника применяется еще один калибр, практически воспроизводящий снаряженный патрон. Это – так называемый калибр «на вхожесть» (см. рис. 1.39, *г*). При правильном взаимном расположении конусов патронника казенный срез ствола должен находиться между рисками. При недоходе первой риски до казенного среза есть опасность распатронирования патрона.

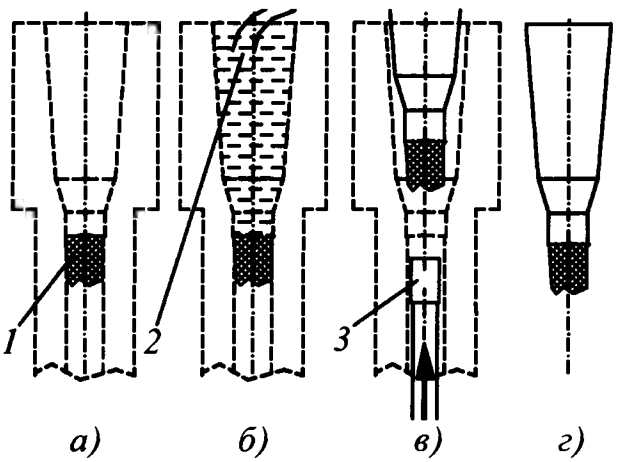


Рис. 1.44. Последовательность получения слепка патронника:
а – забивка ватного пыжа *1* в канал ствола; *б* – заливка расплавленной серы *2* в патронник; *в* – выбивка шомполом *3* остывшего слепка из патронника; *г* – предъявление слепка контролеру

1.7. Правка ствольных труб

Прямолинейность канала ствола оружия является одним из основных точностных требований при их изготовлении.

Проверка полученной прямолинейности канала осуществляется практически всегда длинным калибром-валиком (производственники называют его «калибр-летун»), см. рис. 1.39, *б*. При прохождении этого калибра через канал под действием собственного веса труба считается годной.

В случае, если калибр-летун не проходит через канал, труба подлежит правке.

При изготовлении ствольных труб правка производится несколько раз: после изготовления канала, после обточек, перед хромированием и, иногда, даже в процессе сборки изделия.

На отечественных заводах правка производится по теневому треугольнику (рис. 1.45).

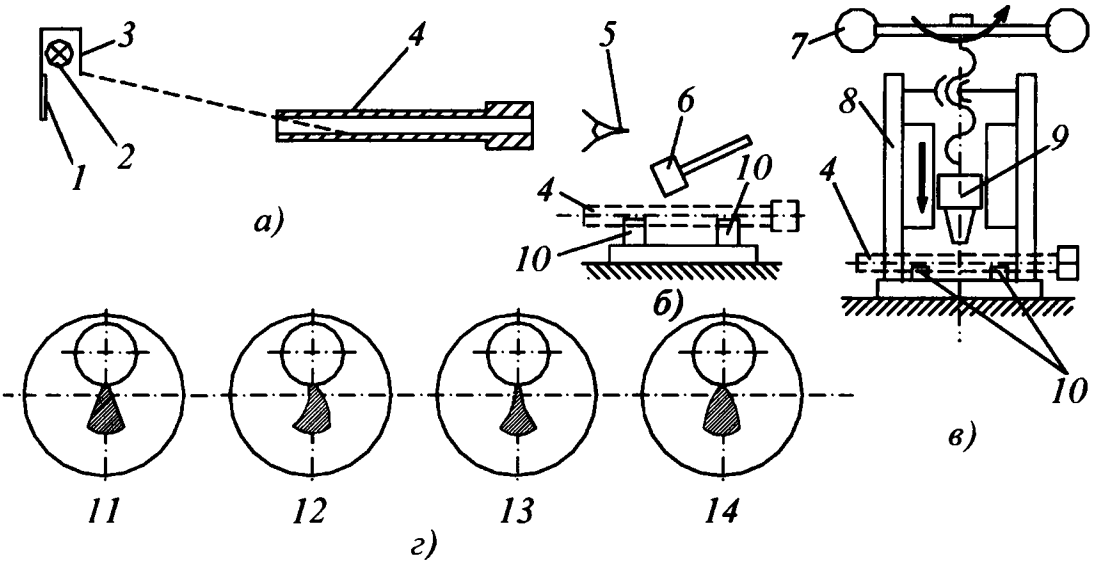


Рис. 1.45. Правка ствольных труб по теневому треугольнику:
а – принципиальная схема наблюдения в канале теневого треугольника; *б* – схема правки ударом молотка; *в* – схема правки на ручном винтовом прессе; *г* – возможные виды теневого треугольника в зависимости от искривления первой половины канала; *1* – белый экран; *2* – лампа; *3* – кожух, окрашенный снаружи в черный цвет; *4* – ствольная заготовка, подлежащая правке; *5* – глаз правщика; *6* – молоток; *7* – грузы на маховике пресса; *8* – станина пресса; *9* – ползун пресса; *10* – призмы; *11* – канал прямой; *12* – стрела прогиба канала направлена вправо; *13* – стрела прогиба канала направлена вниз; *14* – стрела прогиба канала направлена вверх

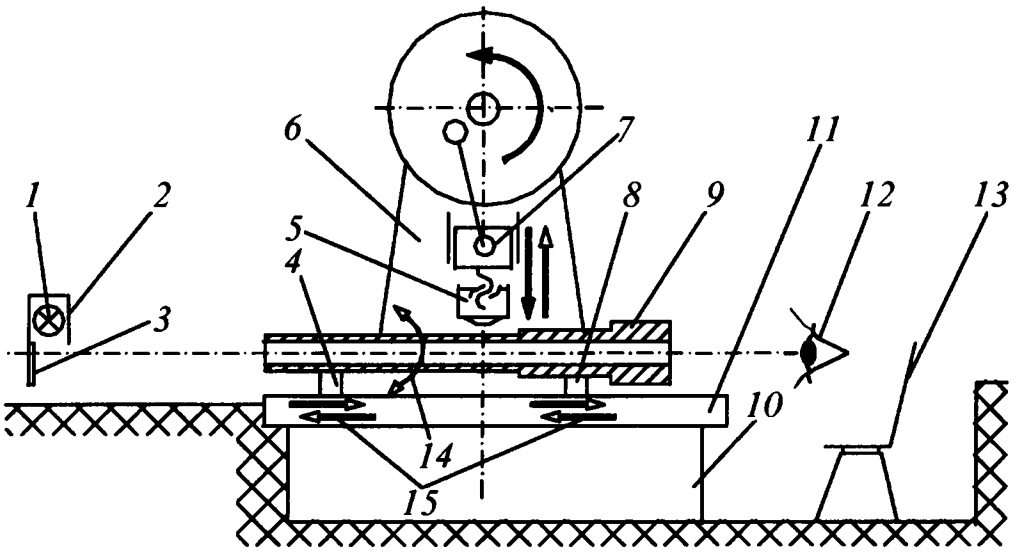


Рис. 1.46. Схема правки ствольных труб, калибром свыше 20 мм:
1 – лампа-осветитель; *2* – кожух лампы; *3* – экран; *4*, *8* – передвижные призмы-опоры; *5* – нажимная головка; *6* – кривошипный пресс; *7* – ползун; *9* – изделие (ствольная труба); *10* – фундамент пресса; *11* – стол; *12* – глаз правщика; *13* – рабочее место правщика; *14* – возможные вращения изделия на призмах; *15* – возможные перемещения призм (опор изделия)

В зависимости от калибра трубы правка может производиться: ударом медного тяжелого молотка (рис. 1.45, *в*) для стрелковых стволов, ударом ползуна винтового пресса (рис. 1.45, *г*) для калибров до 20 мм и ударом ползуна кривошипного пресса (рис. 1.46).

Правщик подводит верхнюю точку переднего торца канала к границе разделения цвета «белый-черный» экрана *1* и кожуха *3*. При этом на нижней части поверхности канала образуется теневой треугольник или трапеция. В зависимости от кривизны канала в первой половине трубы (той, что обращена к экрану) этот теневой треугольник имеет форму, показанную на рис. 1.45, *г*.

Винтовой пресс отдает ползуну энергию, которую правщик сообщил грузам маховика.

Правка более крупных калибров (23...30 мм) требует значительных усилий, поэтому на этой операции работают кривошипные прессы с рабочим усилием до 100...120 тонн.

Амплитуда перемещения ползуна пресса постоянна, поэтому правщик для получения той или иной стрелы прогиба ствольной трубы должен ввертывать или вывертывать нажимную головку *5* (см. рис. 1.46) на ползуне пресса.

Очевидно, что для исправления кривизны канала необходимо приложить к трубе усилия определенной величины и в определенном месте. Эту сложную задачу правщик решает подсознательно. При правке на кривошипных прессах правщик должен регулировать положение и опорных призм *4*, *8*.

Обучение профессии правщика занимает довольно большое время.

1.8. Наружная обработка заготовок труб

Наружная обработка заготовок ствольных труб производится в большинстве случаев на токарных станках, т.к. в основном наружные поверхности ствольных труб – цилиндрические.

Наиболее характерной операцией наружной обточки является операция подготовки заготовки трубы под радиальную ковку: изготовление концов под центры радиально-ковочной машины и проточка наружного профиля. Формы заготовок под радиальную ковку для некоторых типовых изделий показаны на рис. 1.23.

Точность изготовления наружных поверхностей заготовок под ковку невелика – 12...14 квалитеты. Разностенность таких заготовок – 0,2...0,4 мм.

Наружные поверхности после ковки требуют дополнительной обработки в виде круглошлифованных шеек, резьбовых и фрезерованных поверхностей. Они обрабатываются на обычных станках, оснащенных необходимыми приспособлениями для базировки и зажима деталей. В качестве типовых приспособлений применяются жесткие и вращающиеся центры, поводковые или стационарные патроны и обязательно люнеты.

Требования по шероховатости наружных поверхностей в основном укладываются в Rz = 20...40 мкм для свободных поверхностей и в Ra = = 2,5...1,25 мкм для сопрягаемых.

Точностные требования по свободным поверхностям – 12...15 квалитеты, а для сопрягаемых – 9...10.

Важной задачей при наружной обточке ствольных заготовок является обеспечение необходимой разностенности.

Эта задача решается в следующей поледовательности:

– сначала заготовка закрепляется в приспособлении так, чтобы биение канала относительно контрольной шейки *3* приспособления было минимальным. Для этого болтами *4* заготовка выставляется в приспособлении с минимальным разбросом по величине радиуса R при вращении контрольного прибора. Это обеспечит совпадение оси канала заготовки и оси контрольной шейки *3* (рис. 1.47, *а*);

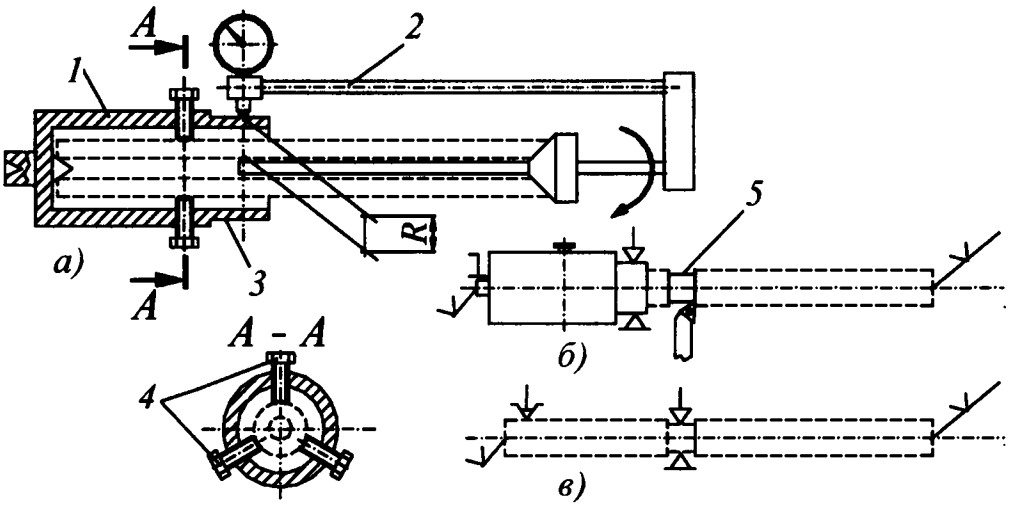


Рис. 1.47. Схемы обеспечения минимальной разностенности ствольной заготовки при ее наружном обтачивании:
1 – корпус – "стакан" приспособления; *2* – контрольный прибор; *3* – контрольная шейка приспособления; *4* – регулировочные болты; *5*– проточенная на заготовке шейка

– следующее действие – заготовка в приспособлении закрепляется в токарном станке так, как показано на рис. 1.47, *б* – на заднем центре приспособления и контрольной шейке приспособления в настроенном люнете.

При этом базировании ось заготовки практически совпадает с осью станка на участке от заднего центра до контрольной шейки приспособления. На заготовке протачивается шейка ближе к контрольной шейке приспособления. Она будет эквидистантна контрольной шейке приспособления; третий шаг задачи обеспечения требуемой минимальной разностенности заготовки – закрепление ее в токарном станке, как показано на рис. 1.47, *в*.

Заготовка крепится в центрах станка и в люнете, настроенном на диаметр проточенной шейки. Такая схема дает совпадение трех точек оси заготовки с осью станка и позволяет за счет некоторой деформации заготовки приблизить действительную ось канала к оси станка. Это дает возможность при последующей наружной обточке получить минимальную разностенность детали.

Обработка наружной поверхности ствола по схеме, представленной на рис. 1.47, *в*, в условиях массового производства на некоторых заводах ведется на автоматических линиях с применением роботов. Примерная схема размещения станков, роботов и конвейера дана на рис. 1.48.

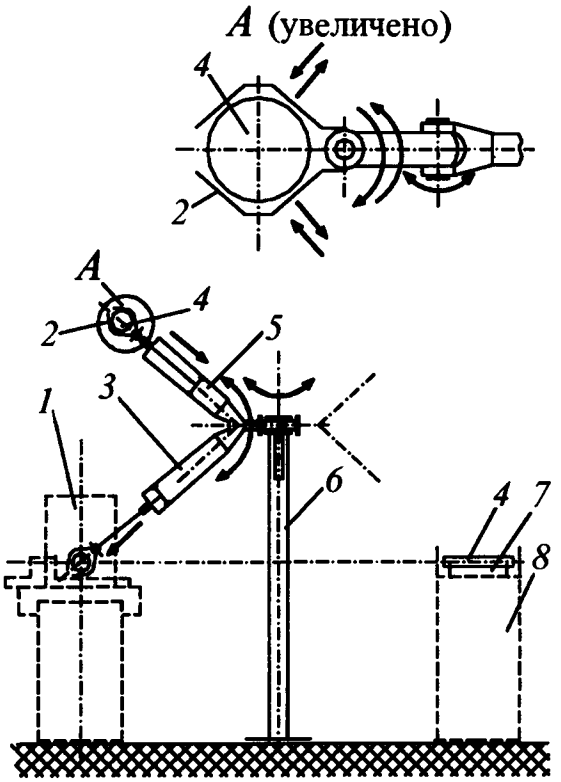


Рис. 1.48. Примерная схема работы автоматической линии для наружной обработки ствольных заготовок:
1– линия токарных станков; *2* – схват робота; *3*, *5* – рука робота; *4* – ствольная заготовка; *6* – основание (колонна) робота; *7* – конвейер; *8* – основание конвейера

Работа такой автоматической линии происходит по циклу:

– рука робота *5* сняла обработанную заготовку *4* со станка, взяла ее схватом *2* и втянулась вверх;

– блок рук *3* и *5* повернулся относительно горизонтальной оси на 180°;

– рука робота *3* подает заготовку на линию центров станка, и она закрепляется;

– схват руки *3* разжимается и уходит вверх;

– блок рук поворачивается вокруг вертикальной оси колонны на 180°;

– рука *3* берет с конвейера заготовку и уходит вверх;

– блок рук поворачивается вокруг горизонтальной оси на 180°;

– рука *5* кладет на конвейер обработанную заготовку и уходит вверх;

– блок рук поворачивается вокруг вертикальной оси колонны на 180°;

– рука *5* снимает со станка обработанную деталь и уходит вверх;

– далее цикл повторяется.

1.9. Затвор

Затвор автоматического оружия должен при стрельбе выполнить ряд важных функций: дослать патрон в патронник, при выстреле – запереть

канал ствола от давления пороховых газов на дно гильзы, извлечь стреляную гильзу. Причем, все эти действия производятся в режиме циклического нагружения с темпом 500...2000 выстрелов в минуту.

Отсюда следует, что затвор является высоконагруженной деталью и, следовательно, должен изготавливаться из соответствующих материалов и с соответствующей текстурой.

В качестве материала для затворов применяются высоколегированные стали, содержащие хром, молибден, никель с минимальным содержанием серы и фосфора (улучшенные). Например, затвор одного из автоматов изготавливается из стали 25Х2Н4МА.

Для обеспечения высокой циклической прочности заготовка изготавливается, как правило, горячей штамповкой. При этом получается текстура материала, достаточно благоприятная для восприятия рабочих нагрузок.

Требования по точности и шероховатости изготовления основных поверхностей затвора: по точности линейных размеров H11/h11, по отклонению от симметричности расположения поверхностей относительно оси затвора – 0,015...0,020 мм, по шероховатости – *Ra* 1,25.

Заготовкой для затвора, как уже говорилось, обычно служит горячая штамповка. Для типовой детали (рис. 1.49) конфигурация штамповки дана на рис. 1.50.

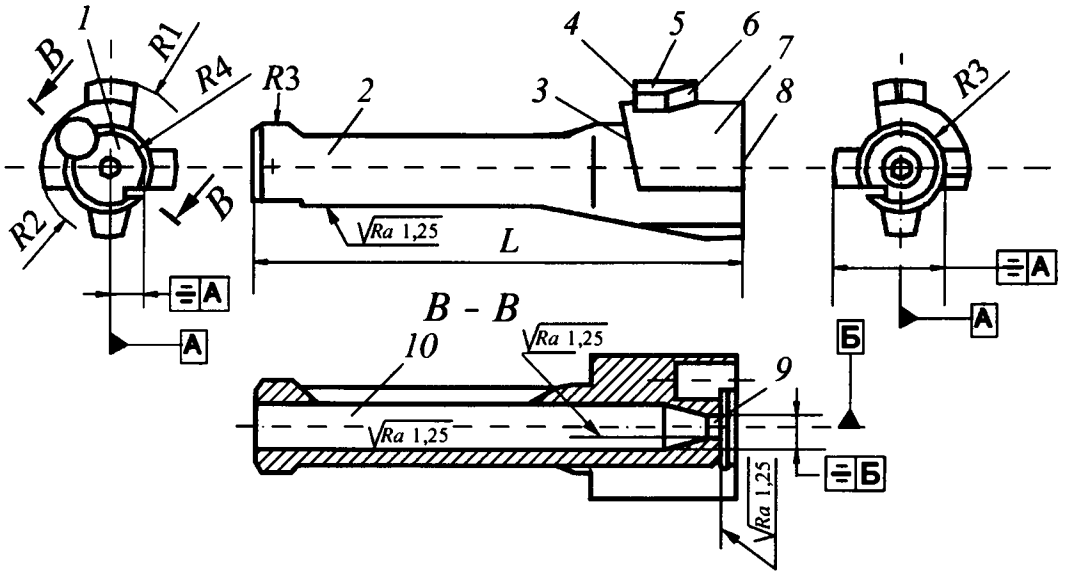


Рис. 1.49. Примерный контур типового затвора автомата:
1 – дно чашечки затвора; *2* – хвостовая часть; *3* – боевой упор; *4–6* – поверхности выступа вращения затвора; *7* – головка затвора; *8* – зеркало; *9* – отверстие под боек; *10* – канал ударника

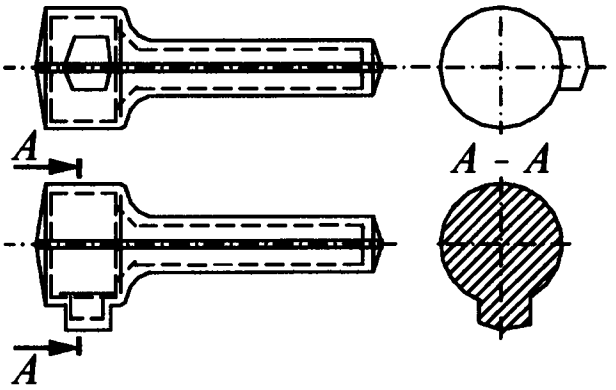


Рис. 1.50. Заготовка для изготовления затвора, полученная горячей штамповкой

Надо отметить некоторые оговоренные в техпроцессе особенности изготовленной заготовки:

– смещение по разъему штампов, мм..... до 0,5
– прогиб по длине, мм..... до 0,5
– заусенец после обрезки облоя, мм..... до 0,6
– глубина поверхностных дефектов – 0,5 припуска на мехобработку.

Контроль осуществляется визуально в объеме 10 % от партии, но не менее, чем на двух деталях.

Заготовка проходит нормализацию, причем окалина не допускается.

Клеймо входного контроля партии деталей ставится на бирке.

Припуски на механическую обработку составляют порядка 2,5...3,5 мм.

Начальной операцией механической обработки обычно бывает фрезерование торцев заготовки набором фрез, который обеспечивает получение линейных размеров L_1 и L_2 (рис. 1.51).

Следующая операция механической обработки – предварительное изготовление канала под ударник – производится за несколько переходов (рис. 1.52).

Номера в скобках на эскизе соответствуют последовательности изготовления канала: I – зацентровка; II – сверление; III – изготовление конуса; IV – сверление отверстия под боек.

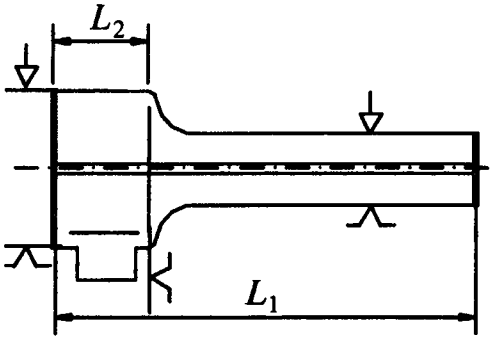


Рис. 1.51. Эскиз заготовки после фрезерования торцев набором фрез

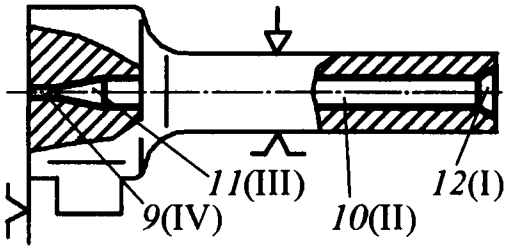


Рис. 1.52. Эскиз операции предварительного изготовления канала под ударник:
9 – отверстие под боек; *10* – канал ударника; *11* – переходный конус; *12* – конус

Серьезным требованием при изготовлении канала под ударник является получение отклонения от соосности поверхностей *9* и *10* не более 0,015 мм. Поэтому изготовление конуса *11* и отверстия под боек *9* должно производиться инструментом с направлением по каналу *10*. Сам же канал, являясь глубоким отверстием, сверлится для получения высокой прямолинейности ружейным сверлом. После сверления канал дважды развертывается (снимается припуск на диаметр порядка 0,2...0,25 мм).

Затем, для дальнейшей обработки затвора относительно оси канала (требования по симметричности расположения поверхностей задаются как раз относительно оси) выходное отверстие бойка раззенковывается конической зенковкой под конус станочного центра.

Базирование и закрепление заготовки при предварительной токарной обработке производится, как показано на рис. 1.53.

Токарная предварительная обработка производится с требованиями по точности в пределах h11 – для диаметральных и h13 – для линейных размеров и по шероховатости *Rz* 40 (*Ra* 10).

Наиболее эффективные варианты базирования и закрепления заготовки затвора при фрезеровании головной части (*I–III*) даны на рис. 1.54.

Головная часть затвора получается фрезерованием. В зависимости от форм поверхностей затвора они обрабатываются фасонными фрезами в последовательности, указанной на рис. 1.54.

Требования по точности фрезерования лежат в пределах h11, h12, а по шероховатости *Ra* 10...*Ra* 2,5.

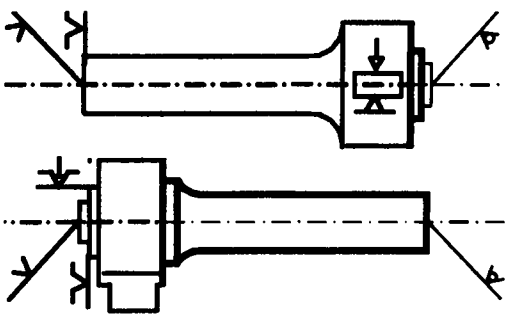
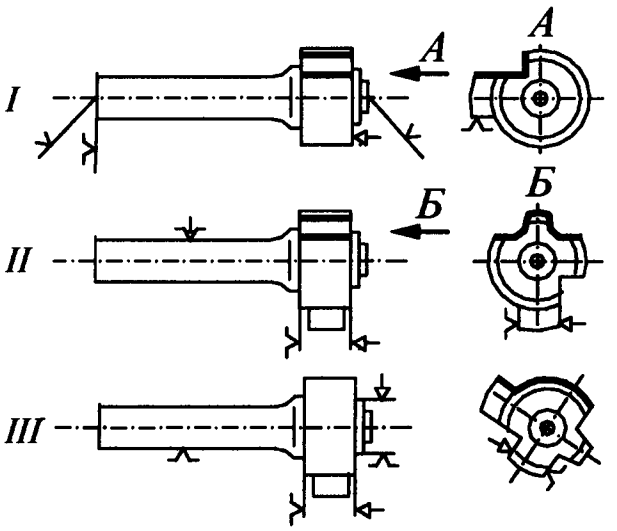


Рис. 1.53. Эскиз предварительной токарной обработки затвора



1.54. Последовательность базирования головки затвора при обработке фасонными фрезами

После фрезерования головной и некоторых пазов хвостовой части производится расточка чашечки под патрон (рис. 1.55). Следует отметить более высокие требования по точности изготовления диаметра чашечки – h10 и недопустимость вогнутости ее дна.

Для нормального закрывания затвора при выстреле проводится обмер расстояния *K* (см. рис. 1.55) между дном чашечки и задней поверхностью винтового упора. Этот размер делится на несколько групп, и номер группы клеймится на затворе. Допуски размера по группам для одного из затворов приведены в табл. 1.5.

1.5. Разбивка по группам зазора между чашечкой затвора и задней поверхностью винтового упора

Группа	Размер «*K*»
0	$16{,}35_{-0{,}1}$
1	$16{,}4_{-0{,}05}$
2	$16{,}45_{-0{,}05}$

Винтовые поверхности *3* и *6* (см. рис. 1.49) получаются также фрезерованием. Фрезерование производится в два прохода.

При изготовлении отверстия *13* (для предохранения выпадения ударника из затвора, рис. 1.56) во избежание поломки или увода сверла при прохождении канала *10* в этот канал вставляется технологическая пробка (стальная проволока), которая засверливается совместно с затвором. После чего она удаляется.

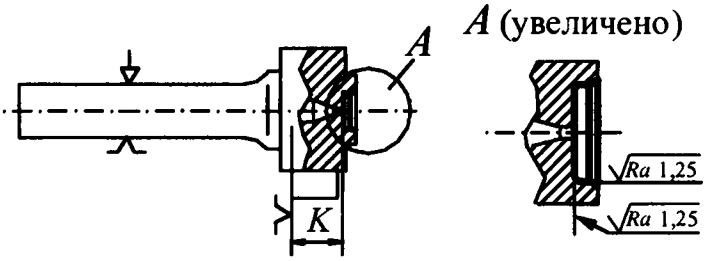


Рис. 1.55. Эскиз расточки чашечки затвора

После предварительного изготовления всех поверхностей затвора заготовка проходит контроль на стилоскопе на соответствие марки материала. Затем заготовка термообрабатывается до получения твердости 43...50 HRC.

Очищенную от окалины по всем поверхностям заготовку дорабатывают до чистовых размеров на шлифовальных (передний торец), фрезерных станках (винтовые поверхности) и слесарно.

После изготовления затвор проходит контроль по всем поверхностям на соответствие размеров и взаимного расположения.

Ориентировочные режимы на основных операциях механической обработки (табл. 1.6):

1.6. Порядок скорости механической обработки поверхностей зазора, м/мин

	Точение	Фрезерование	Сверление	Развертывание	Копирование /фрезерование
До термической обработки	75...110* 15...20**	85...160* 15...25**	7...10**	5...7**	12...25**
После термической обработки	30...40*	30...40*	8...15**	7...8,5**	25...40*

* Инструмент, оснащенный твердым сплавом.

** Инструмент из быстрорежущей стали.

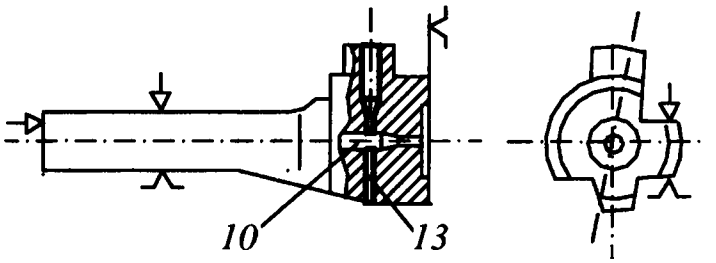


Рис. 1.56. Эскиз изготовления отверстия *13* под штифт фиксации ударника от выпадения из затвора

В качестве режущих инструментов при изготовлении затвора применяются проходные и расточные резцы (оснащенные твердым сплавом или быстрорежущей сталью), сверла спиральные и ружейные, фрезы пальцевые, грибковые, фасонные (также оснащенные твердым сплавом или быстрорежущей сталью).

1.10. Колодка мушки, газовая камора, колодка прицела

Некоторые особенности изготовления названных деталей наиболее целесообразно рассмотреть на примере их наличия в автомате Калашникова. Они напрессовываются на шейки ствола в следцующей последовательности: колодка прицела, газовая камора, колодка мушки.

Заготовками для них служат отливки по выплавляемым моделям, требующие относительно незначительной механической обработки. Материалом для всех выбрана сталь 50Л.

Газовая камора представляет собой насадку на стволе автоматического или полуавтоматического оружия, через которую газы при выстреле поступают в некоторую полость. В этой полости располагаются детали, приводящие в работу механизмы автоматики от воздействия пороховых газов.

Газовая камора напрессовывается на ствол и соединяется с каналом ствола благодаря просверленному в ней и в стволе отверстию. При стрельбе она подвергается воздействию горячих пороховых газов под давлением. Поэтому, в качестве материала каморы выбирается среднеуглеродистая сталь, как было сказано выше, сталь 50 Л.

Заготовками для изготовления колодки прицела, газовой каморы и колодки мушки в зависимости от программы выпуска могут быть горячая штамповка или отливка по выплавляемым моделям.

Если выбрана штампованная заготовка, то детали обрабатываются по всем поверхностям, если же заготовка литая, механически обрабатываются только посадочные места, полости и каналы.

Исключением из этого правила является колодка прицела, которая, несмотря на литую заготовку, подвергается механической обработке по наружной поверхности.

Автоматическое оружие чаще всего производится крупными сериями или даже массово. Поэтому целесообразно рассмотреть некоторые особенности изготовления газовой каморы, колодки мушки и колодки прицела из литой заготовки (рис. 1.57).

На заготовках маркируется номер плавки и проверяются: остаток литника (допускается до 1 мм), расположение, величина и количество

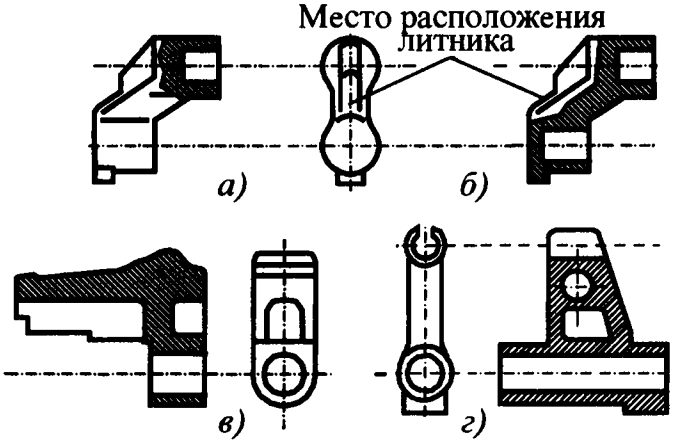


Рис. 1.57. Примерная форма заготовки газовой каморы, колодки прицела и колодки мушки, полученные литьем по выплавляемым моделям:
а – заготовка газовой каморы с одной полостью; *б* – заготовка газовой каморы с двумя полостями; *в* – заготовка колодки прицела; *г* – заготовка колодки мушки

литейных дефектов, след плоскости разъема. Контроль производится сравнением с эталоном. Для снятия окалины и заусенцев заготовки подвергаются мокрой галтовке или виброгалтовке.

В галтовочный барабан загружаются раздробленный гранит, разбитые шлифовальные круги, галька с размерами порядка 20 × 20 × 20. Все заливается водным раствором эмульсола или водным 3 %-м раствором кальцинированной соды.

Детали вместе с камнями по объему составляют 50...60 % объема галтовочного барабана. Причем, объем камней в 2...3 раза больше объема деталей. Эмульсия заливается до объема загруженных камней и деталей.

Частота вибраций барабана порядка 25 герц, амплитуда 2,5 мм. Продолжительность виброгалтовки составляет порядка двух часов. После галтовки детали промываются водой и горячей эмульсией.

После механической обработки основных поверхностей газовая камора имеет вид, показанный на рис. 1.58.

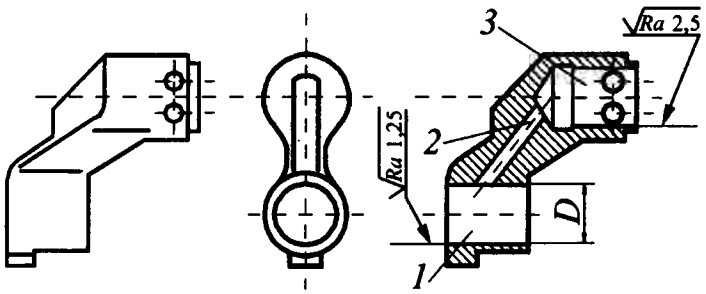


Рис. 1.58. Вид газовой каморы после механической обработки основных поверхностей:
1 – поверхность, по которой газовая камора напрессовывается на ствол; *2* – канал, подводящий газы из ствола в камору; *3* – собственно газовая камора

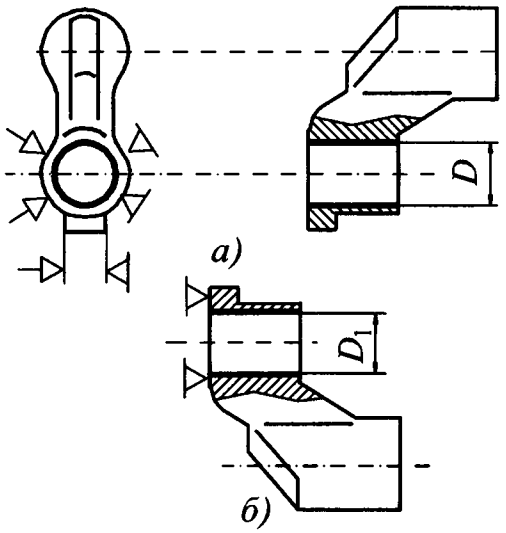


Рис. 1.59. Эскизы начальных операций механической обработки газовой каморы:
а – сверление; *б* – протягивание отверстия для посадки каморы на ствол

После галтовки заготовки механически обрабатываются по некоторым наружным поверхностям (на рис. 1.58 не показаны, например, направляющие под штык-нож, отверстие под шомпол).

Основные поверхности детали – это поверхности *1*, *2*, *3*.

Механическая обработка начинается со сверления отверстия для посадки каморы на ствол (рис. 1.59, *а*, диаметр D), а затем, после подрезки переднего торца, это отверстие протягивается до диаметра D_1 (рис. 1.59, *б*). Дальнейшая механическая обработка производится почти на всех операциях с использованием этого отверстия в качестве технологической базы.

На рис. 1.60 показаны эскизы изготовления газовой полости каморы.

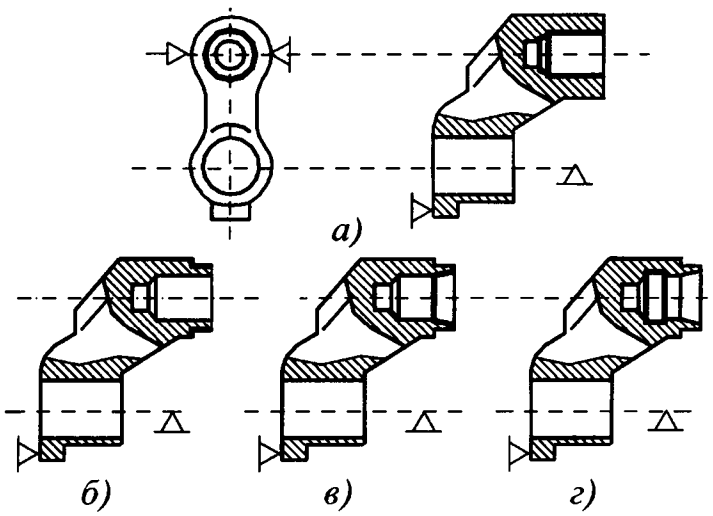


Рис. 1.60. Последовательность обработки газовой полости каморы:
а – зенкерование или растачивание; *б* – обтачивание наружного цилиндра; *в* – растачивание или зенкерование конуса; *г* – растачивание внутренней части газовой полости

В зависимости от типа производства и традиций завода обработка поверхностей может производиться каждая на отдельном станке с наладкой на производство только этой операции или на токарном станке с ЧПУ за одну операцию. Последнее целесообразно применять для малых серий выпуска.

После обработки газовой полости в заготовке изготавливаются посадочные места под крепление штыка, шомпола. Затем сверлится отверстие, соединяющее канал ствола и газовую полость (рис. 1.61).

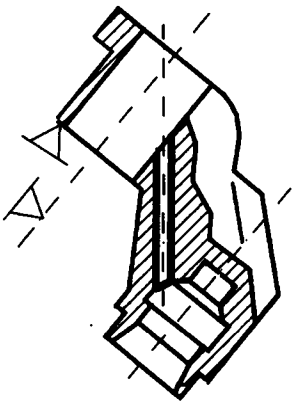


Рис. 1.61. Эскиз операции сверления отверстия, соединяющий канал ствола с газовой полостью

Базирование заготовки опять производится на отверстие для посадки газовой каморы на ствол.

Сложность этой операции состоит в том, что сверло должно входить в деталь под углом. Поэтому здесь обязательно применение кондуктора.

После этих операций производится термообработка изделий и замер твердости. В точке замера твердости возможна зачистка от окалины с местным понижением до 0,15 мм. Заготовки проходят термообработку на твердость 37...42 HRC. После термообработки заготовки промываются в течение 1...2 мин в растворе:

сода кальцинированная, г	20...30
мыло хозяйственное, г	2
вода, л	1

Раствор нагрет до $t = 90...100°$ С.

Дальнейшая механическая обработка заключается в развертывании (чаще всего на вертикально-сверлильном станке) отверстия, по которому производится посадка детали на ствол. После развертывания это отверстие достаточно точно обмеряется по диаметру, например, пневмокалибрами.

По этим замерам детали подразделяются на несколько групп для селективной сборки со стволом. Количество стволов с необходимыми диаметрами посадочных шеек изготавливается по количеству газовых камор определенной группы. Для автомата Калашникова, например, таких групп камор четыре (табл. 1.7).

1.7. Посадочные размеры газовых камор при их селективной сборке со стволом

№ группы	0	1	2	3
Диаметр посадочного отверстия	$14{,}965^{+0{,}09}$	$15{,}0^{+0{,}015}$	$15{,}015^{+0{,}02}$	$15{,}03^{+0{,}02}$

Механическая обработка газовой каморы производится практически общепринятыми инструментами без применения сложных специальных, за исключением протяжки, общий вид которой показан на рис. 1.66.

Точность механической обработки детали относительно невелика. Точность изготовления отверстия для посадки на ствол – по 12 квалитету. Для качественной прессовой посадки на ствол этот допуск делится на четыре группы (см. таблицу выше).

Точность расточки газовой полости – по 13, 14 квалитету.

Посадочное место штыка-ножа выполнено по H10.

Припуски на чистовую обработку после термообработки относительно невелики. Например, отверстие под посадку на ствол перед протягиванием имеет диаметр $14{,}85^{+0{,}035}$, а в окончательном виде для группы 3 диаметр равен $15{,}03^{+0{,}02}$ мм, то есть припуск на сторону составляет порядка 0,09 мм.

Канал газовой полости перед термообработкой имеет диаметр $13{,}5^{+0{,}12}$ мм, а после окончательной обработки – $13{,}92^{+0{,}035}$ мм, то есть припуск на сторону составляет порядка 0,2 мм.

Режимы механической обработки будут приведены ниже, при рассмотрении изготовления колодки мушки и колодки прицела.

После механической обработки деталь оксидируется.

При массовом и крупносерийном производстве применяются быстродействующие приспособления с пневматическими или гидравлическими приводами и простейшие операционные станки.

На рис. 1.62 дана кинематическая схема приспособления для начальной операции обработки газовой каморы – сверления отверстия, которым деталь сажается на ствол.

Базирование и закрепление заготовки *1* производится двумя призмами *2* и *3*, которые перемещаются в противоположные стороны благодаря зубчатому колесу *8*. При ходе поршня пневмопривода *7* клиновой механизм *6* поворачивает двуплечий рычаг *5*, который перемещает в ту или другую сторону призму *3*, а значит, и призму *2*, зажимая или разжимая заготовку.

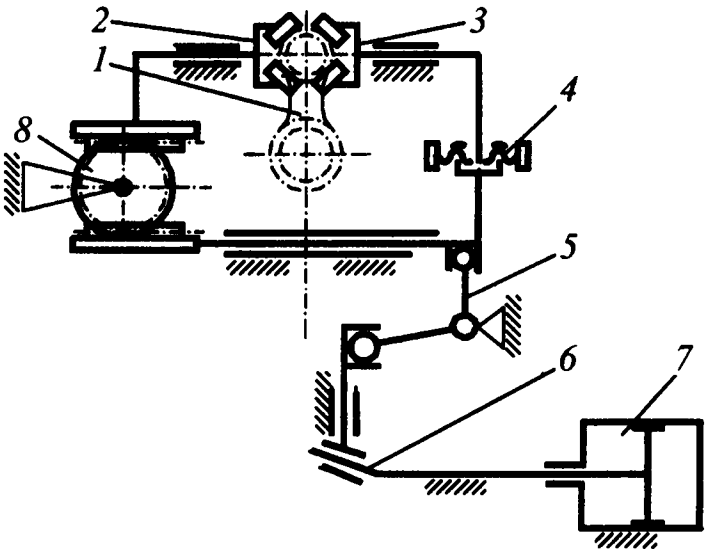


Рис. 1.62. Кинематическая схема приспособления для сверления в заготовке газовой каморы посадочного отверстия

Для начальной выверки правильного положения заготовки относительно оси станка служит винтовой механизм *4*, благодаря которому губка *3* может быть смещена в нужную сторону.

Приспособление с такой кинематической схемой работает на Ижевском машиностроительном заводе.

Примерная форма колодки мушки показана на рис. 1.63.

Главной механически обрабатываемой поверхностью колодки мушки является отверстие посадки колодки на ствол. Оно обрабатывается набором довольно сложных инструментов.

Операционные эскизы изготовления посадочного отверстия даны на рис. 1.64.

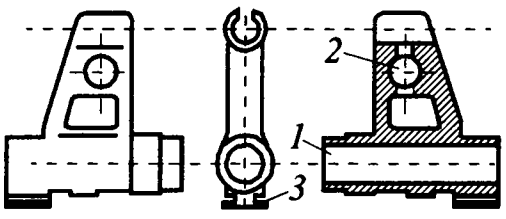


Рис. 1.63. Примерная форма колодки мушки после механической обработки. Наиболее ответственные обрабатываемые поверхности:
1 – отверстие посадки на ствол;
2 – посадочное отверстие под основание мушки; *3* – посадочное место для штыка

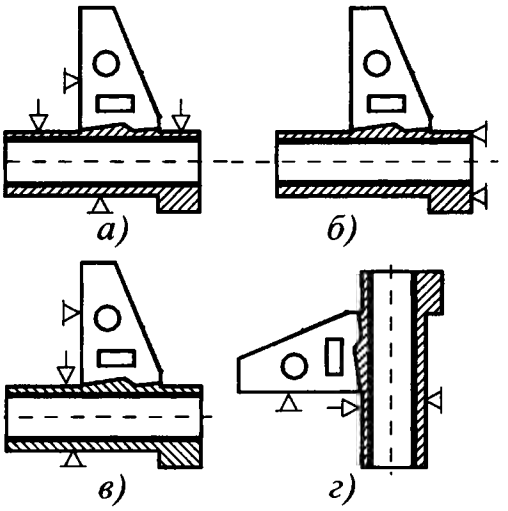


Рис. 1.64. Эскизы изготовления посадочного отверстия в колодке мушки: *а* – зенкерование черновое и чистовое; *б* – протягивание; *в* – чистовое развертывание после термообработки; *г* – хонингование

Начальная обработка производится двумя зенкерами с направляющей, базирующейся по предварительному отверстию. Конструкция такого зенкера показана на рис. 1.65.

После зенкерования отверстие протягивается протяжкой (рис. 1.66), имеющей режущие зубья (подъем на зуб 0,04 мм) со стружкоделительными канавками, калибрующие зубья (подъем на зуб 0,00 мм) и выглаживающие (уплотняющие зубья) в виде торовых колец, также без подъема на зуб.

После протягивания посадочного отверстия и механической обработки ряда поверхностей деталь термообрабатывается на твердость 36...43 HRC, а затем посадочное отверстие дорабатывается сначала развертыванием (с применением в качестве СОЖ растительного масла) и последующим хонингованием.

Хонингование ведется, так как деталь относительно короткая, на вертикально-хонинговальном станке головкой, принципиальное устройство которой дано на рис. 1.67.

Работает хонголовка следующим образом: штанга *1* своим фланцем крепится к шпинделю станка и совершает вращательные и возвратно-поступательные движения. В окна штанги вставляются колодки *5*, которые опираются на конус штока *6*. При осевом перемещении штока *6* колодки с брусками *4* смещаются в радиальном направлении, обрабатывая отверстие или отходя от его поверхности. От выпадения из штанги колодок с брусками предохраняют пружинные кольца *2*.

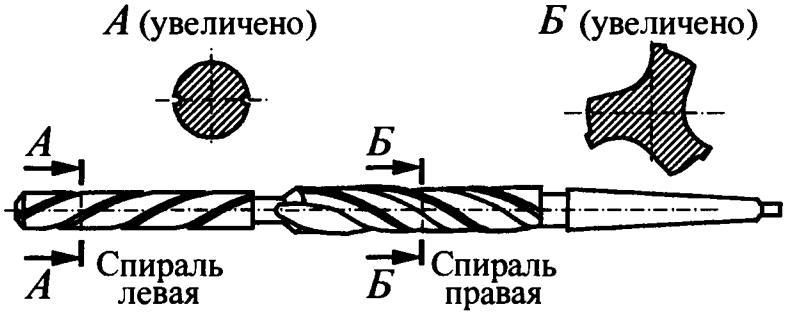


Рис. 1.65. Конструкция зенкера для предварительной обработки посадочного отверстия колодки мушки

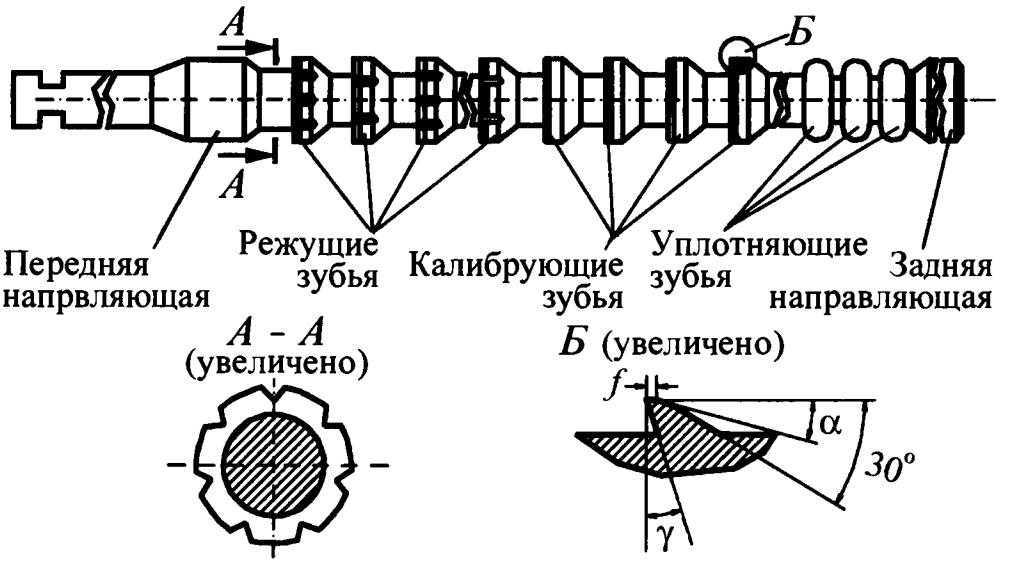


Рис. 1.66. Протяжка для обработки посадочного отверстия колодки мушки (а также колодки прицела и газовой каморы) перед термообработкой

После хонингования колодок мушки они рассортировываются так же, как и газовые каморы, по посадочному отверстию на группы.

К примеру, для автомата Калашникова в табл. 1.8 приведены размеры в группах.

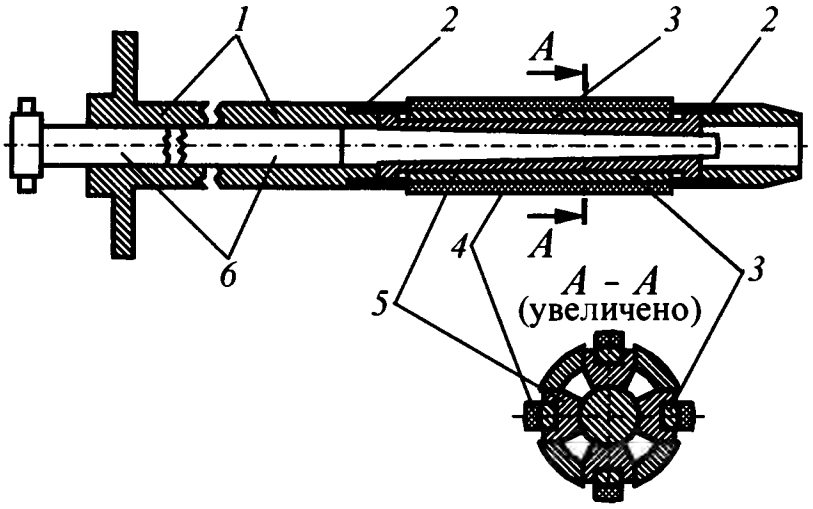


Рис. 1.67. Хонинговальная головка:

1 – штанга с фланцем крепления к шпинделю станка; *2* – пружинные кольца; *3* – стальное основание; *4* – брусок; *5* – колодка; *6* – шток с конусом

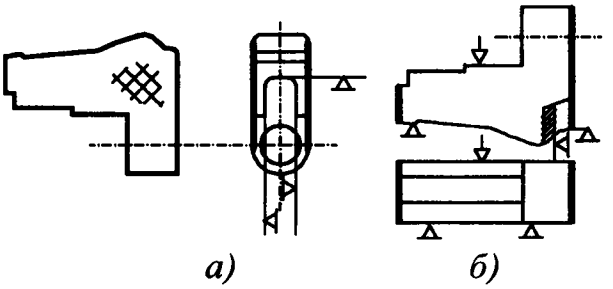


Рис. 1.68. Начальная механическая обработка заготовки колодки прицела: *а* – протягивание боковых поверхностей; *б* – фрезерование переднего и заднего торцев

1.8. Посадочные размеры колодок мушки при селективной сборке со стволом

Номер группы	0	1	2	3
Диаметр посадочного отверстия	$14{,}465^{+0{,}015}$	$14{,}5^{+0{,}015}$	$14{,}515^{+0{,}02}$	$14{,}58^{+0{,}02}$

Особенность изготовления колодки прицела заключается в том, что после галтовки заготовка протягивается по боковым поверхностям плоской протяжкой (рис. 1.68, *а*), после чего фрезеруются передний и задний торцы (рис. 1.68, *б*).

Затем, как у колодки мушки и газовой каморы, производится зенкерование и протягивание посадочного (на ствол) отверстия D_2 (рис. 1.69, *а*), а также сверление отверстия под цапфы прицельной планки $D_{пл}$.

Последующая обработка колодки прицела производится в основном фрезами различного профиля и конструкции: грибковыми, пальцевыми.

После термообработки заготовки на 37...42 HRC производится доработка поверхностей, в частности, чистовое развертывание посадочного отверстия и разбраковка по этому отверстию на группы. В автомате Калашникова таких групп три (табл. 1.9).

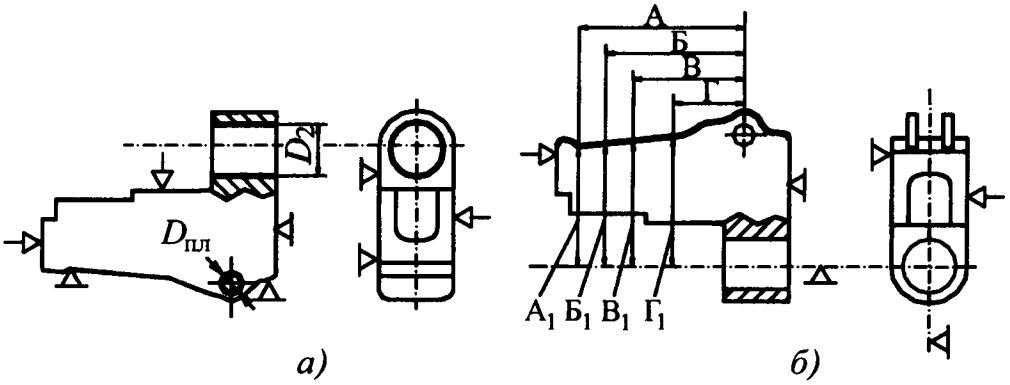


Рис. 1.69. Эскизы изготовления в колодке прицела посадочного отверстия на ствол (*а*) и контура кривой прицела (*б*)

1.9. Посадочные размеры колодок прицела при их селективной сборке со стволом

Номер группы	1	2	3
Диаметр посадочного отверстия, мм	$17{,}5^{+0{,}025}$	$17{,}525^{+0{,}02}$	$17{,}585^{+0{,}02}$

После протягивания отверстия D_2 сверлится отверстие под цапфы прицельной планки $D_{пл}$. Дальнейшая обработка заготовки производится от этих отверстий (с базированием на них).

Некоторую особенность представляет обработка контура кривой прицела. До термообработки эта поверхность фрезеруется, а после термообработки – шлифуется с выдерживанием контура относительно оси посадочного отверстия, причем достаточно строго. Например, для автомата Калашникова десять позиций замера. Замеры по координатам *А*, *Б*, *В*, *Г* производятся с шагом 1...2,5 мм, а по координатам $А_1$, $Б_1$, $В_1$, $Г_1$ с точностью до сотых долей миллиметра.

Режимы механической обработки этих деталей, в связи с одинаковостью материала и термообработки, практически одни и те же (табл. 1.10).

1.10. Примерные режимы механической обработки колодки мушки, газовой каморы, колодки прицела

№	Обработка	v, м/мин	$S_о$, мм/об	$S_м$, мм/мин	S_z, мм/зуб	Примечание
1	Обтачивание	60...70	0,25	100...150	–	Резец *
2	Фрезерование	100 15	0,5...0,6 0,08	400...500 140	0,08...0,1 0,02	Фреза* Фреза**
3	Сверление	4...30	0,08... 0,2	80...350	0,4...0,1	Сверло**
4	Зенкерование	6	0,25	30...40	0,08	Зенкер**
5	Развертывание	4...5	0,7...0,8	200	–	Развертка**
6	Протягивание	3...4	–	–	0,03...0,04	Протяжка**

* Из твердосплавной стали.

**Из быстрорежущей стали

1.11. Пружины стрелково-пушечных машин

Пружины в большинстве случаев для стрелково-пушечных машин изготавливаются в виде навитых из проволоки спиральных деталей. Но бывают пружины и в виде пластин или точеных из прутка изделий (рис. 1.70).

Материалом пружин в большинстве случаев служат нагартованные стали.

Пружинная нагартованная сталь – это сталь, упрочняемая холодной пластической деформацией для получения высокой упругости и выносливости.

Применяется в виде патентированной холоднотянутой проволоки или холоднокатаной ленты для производства пружин, не подвергаемых закалке.

Марки пружинных сталей: У7А, У8А, У9А, У10А, 65Г, 55ГС, 55С2, 60С2А, 70С3А, 50ХГА, 50ХФА, 60С2ХФА, 60С2ХА, 60С2ВА, 65С2ВА, 60С2Н2А.

Для изготовления большинства винтовых пружин применяется проволока, прошедшая специфическую термообработку – патентирование.

Патентирование (*patenting* – термическая обработка) позволяет получить тонкопластинчатую ферритно-карбидную микроструктуру.

Фазы: аустенизация нагревом до 870...950 °С, изотермическое превращение переохлажденного аустенита в расплаве соли или свинца при 450...550°С и охлаждение водой или на воздухе.

Патентирование обеспечивает высокую прочность и пластичность проволоки при холодном деформировании.

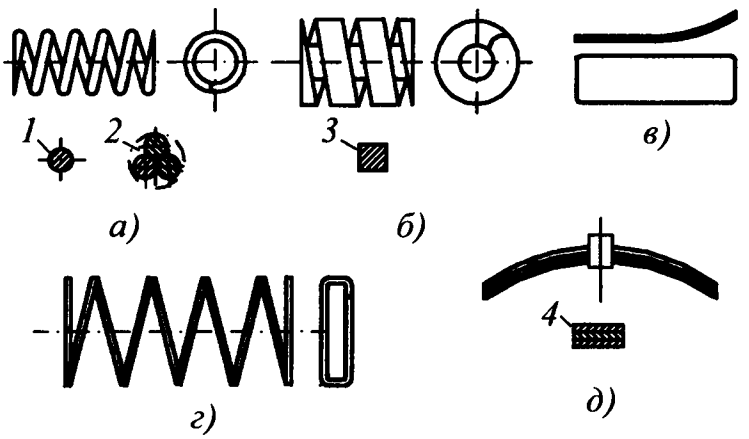


Рис. 1.70. Примеры конструкций пружин:
а – навитая из проволоки или проволочного жгута; *б* – точеная из прутка (буферного); *в* – пластинчатая; *г* – в виде прямоугольника (навитая из проволоки); *д* – в виде рессоры (набранной из пластинчатых пружин); *1*, *2*, *3*, *4* – поперечные сечения пружин

Эта структура благоприятна для проведения последующей холодной деформации.

Сочетание патентирования и последующего наклепа (при пропускании через следующую фильеру) может дать $\sigma_в$ = 300...450 кг/мм^2 и высокую упругость при достаточном запасе пластичности.

Проволока при выходе из фильер пропускается через трубки, уложенные в печь, нагретую до температуры закалки стали. После нагрева проволоку протягивают через свинцовую ванну, затем извлекают, охлаждают, наматывают на барабан и затем снова протягивают через фильеру.

Холоднотянутая проволока I, II, IIA, III классов изготовляется из углеродистых сталей 65, 70, 75, 85 (ГОСТ 1050–88) со следующими пределами прочности:

Класс I – $\sigma_в$ = 300...160 кг/ мм^2. Диаметр – 0,14...6,0 мм.

Класс II; IIA – $\sigma_в$ = 250...140 кг/ мм^2.

Класс III – $\sigma_в$ = 200...110 кг/ мм^2. Диаметр до 8 мм.

Общая степень обжатия пружинной проволоки – до 70 %.

Твердость проволоки порядка 52...60 HRC.

После навивки пружины проходят низкотемпературный (260...320 °С) отпуск для снятия внутренних напряжений, повышения предела упругости и релаксационной стойкости.

Допускаемые напряжения для цилиндрических винтовых пружин сжатия – 0,3...0,6 $\sigma_в$.

1.11.1.Винтовые пружины, намотанные из проволоки

Эскиз таких пружин показан на рис. 1.71.

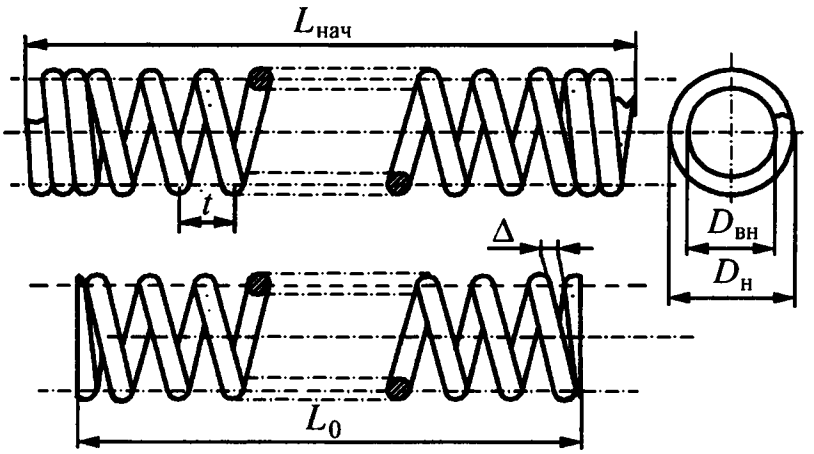


Рис. 1.71. Эскиз винтовой пружины, навитой из проволоки

Перед навивкой проволока проверяется на отсутствие расслоений после испытания ее на скручивание (пункт 4.6 ГОСТ 9389).

Пружина навивается на специальном навивочном станке на оправке с необходимым шагом и количеством витков. На концах пружины навиваются три-четыре витка вплотную друг к другу ($L_{нач}$ – начальная длина пружины).

Наружный диаметр пружины $D_н$, рабочая длина L_0, шаг навивки t, число рабочих витков определяются опытным путем (следовательно, и диаметр оправки для намотки).

После намотки крайние витки откусываются и подгибаются до получения зазора Δ. Затем торцевые витки сошлифовываются до получения размера L_0 с шероховатостью этих витков *Ra* 2,5. Полученные острые кромки притупляются слесарным путем.

Следующей операцией идет низкотемпературный отпуск с температурой порядка 260 °С.

После отпуска пружины подвергаются заневоливанию, т.е. нагружению пружины, надетой на стержень, до соприкосновения витков с последующей выдержкой в течение строго контролируемого промежутка времени. Так, например, *для возвратно-боевой пружины пулемета время заневоливания составляет 24 часа, причем, это время в обязательном порядке записывается в специальном журнале.*

В случае поломки в процессе заневоливания 2 % пружин вся проверяемая партия пружин бракуется и помещается в изолятор брака.

После заневоливания пружины проверяются по рабочей длине L_0, по наружному диаметру $D_н$ при помощи гильзы с определенным внутренним диаметром, по внутреннему диаметру $D_{вн}$ – стержнем (рис. 1.71). Проверяется также зазор между крайними витками. Важной проверкой является нагружение пружины рабочей нагрузкой с измерением ее рабочей длины (рис. 1.72). При превышении этой длины пружина подвергается старению, путем сжатия ее на стержне до соприкосновения витков и погружения в нагретую ванну. После старения пружина опять подвергается заневоливанию по полному временному циклу. Старение допускается многократное.

После этих проверок пружины проходят динамические испытания на гоночном станке. Пружина, находящаяся на стержне, сжимается с частотой и амплитудой, соответствующими темпу и ходу откатных частей при стрельбе из пушки или пулемета, для которых пружина изготовлена.

Так, *партия возвратно-боевых пружин пулемета испытывается при семистах циклах в минуту в течение пятидесяти минут, что составляет наработку 35 000 сжатий. Контроль состояния пружин при испытании на гоночном станке производится через каждые десять ми-*

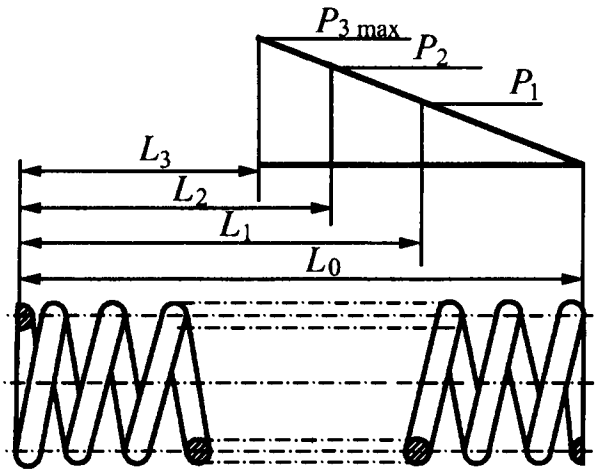


Рис. 1.72. Диаграмма нагружения пружины при испытаниях: L_0 – длина пружины в свободном состоянии; L_1, P_1 – длина и сила, воздействующая на пружину в состоянии начального поджатия; L_2, P_2 – длина и сила, воздействующая на пружину в конечном рабочем состоянии; L_3, P_3 – длина и сила, воздействующая на пружину при сжатии ее до соприкосновения витков

нут. При этом сломанные и потерявшие продольный размер пружины (L_0) с испытаний снимаются.

Индивидуальная приемка каждой пружины производится нагружением в течение 8...10 % времени максимального количества испытательных циклов.

Следующая серия контрольных проверок идет нагружением гирей, сообщающей пружине сжатие L_2 с силой P_2, т.е. параметры рабочего сжатия. Затем, два-три раза пружина с гирей сжимается до соприкосновения витков, после чего пружину отпускают и замеряют ее длину при нагрузке гирей. Если длина оказывается меньше L_2, то пружина бракуется.

Кроме силовых параметров при окончательной приемке проверяются в свободном состоянии $D_н$ и $D_{вн}$, соответственно гильзой и стержнем, длина L_0, количество витков общее и рабочее.

После приемки пружины смазываются и к партии пружин прикладывается бирка с клеймом годности партии, пружины пакуются в тару и после опломбирования тары сдаются на склад.

Винтовые пружины для относительно крупнокалиберных автоматических пушек, например для 57 мм зенитной спарки С-60, работают в качестве накатников. Поэтому пружины для таких систем навиваются из прутка диаметром 30...40 мм.

Навивка производится в горячем состоянии, и так как пружинонавивочных станков для таких случаев нет, навивка осуществляется на токарновинторезном станке, который обеспечивает необходимый шаг пружины.

Предварительно отрезанный до нужной длины пруток нагревается пропусканием через него электрического тока и навивается на оправку с определенным усилием натяга. Натяг создается щечками, укрепленными на суппорте станка.

После навивки фрезеруются торцы и пружина проходит термообработку (закалку и отпуск), проверяется на упругость, прочность отбивкой

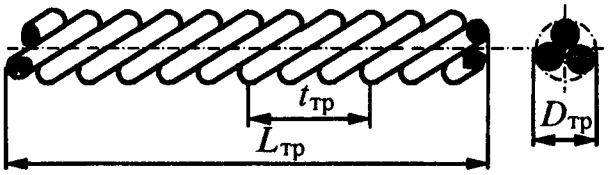


Рис. 1.73. Вид свитого из трех проволок троса для последующей навивки пружины

на копре определенным количеством циклов, осматривается по наружной поверхности на предмет выявления расслоений и трещин.

Еще одной разновидностью винтовых пружин являются пружины, навитые из проволочного троса, который свивается из трех проволок пружинной стали (рис. 1.73).

Трос свивается в направлении, противоположном навивке будущей пружины, т.е. если пружина имеет правое направление витков, то трос – левое.

В зависимости от размеров пружины трос заготавливается или на одну или на несколько пружин. Шаг навивки троса подбирается экспериментально.

После навивки трос проходит проверку на отсутствие трещин внешним осмотром.

При навивке троса *не допускается применение проволок, имевших перегибы.*

Навивка пружин производится на специальных станках, с заданным шагом и количеством необходимых витков. Если трос рассчитан на навивку из него нескольких пружин, то при намотке необходимого числа витков трос перекусывается и навиваются последующие пружины.

После навивки пружины ее крайние витки подгибаются до зазора Δ (рис. 1.74).

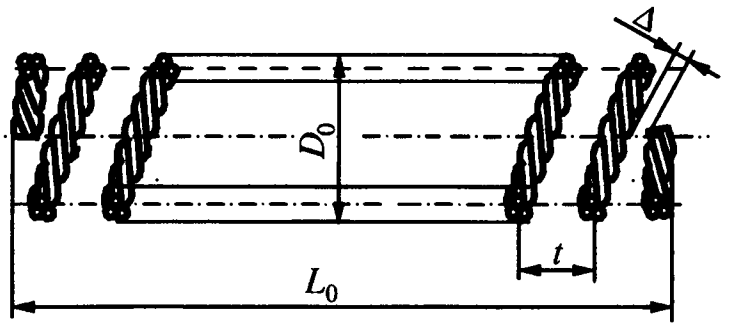


Рис. 1.74. Навитая из троса пружина

После навивки наружная поверхность проверяется на отсутствие следов воздействия инструмента, затем, если пружины навиты с относительно малым диаметром, их торцы сошлифовываются. Для пружин большого диаметра (возвратно-боевых) концы проволоки троса на последних витках для предотвращения расплетения пружины свариваются между собой.

Затем пружины проходят низкотемпературный отпуск (при температуре порядка 280...300 °С).

После отпуска проводится контроль по той же схеме, что и для пружин, навитых из одной проволоки: они заневоливаются, проверяются на упругость при сжатии до рабочей длины, при необходимости подвергаются старению, испытываются на гоночных станках.

Значения D_0, L_0, t устанавливаются опытным путем после заневоливания.

1.11.2. Буферные пружины

Некоторые особенности в изготовлении имеют буферные пружины, предназначенные для гашения ударов откатных частей (см. рис. 1.70, *б*).

Изготовление таких пружин производится из прутка пружинной стали.

Первая операция техпроцесса – отрезание от прутка заготовки необходимой длины (рис. 1.75, *а*).

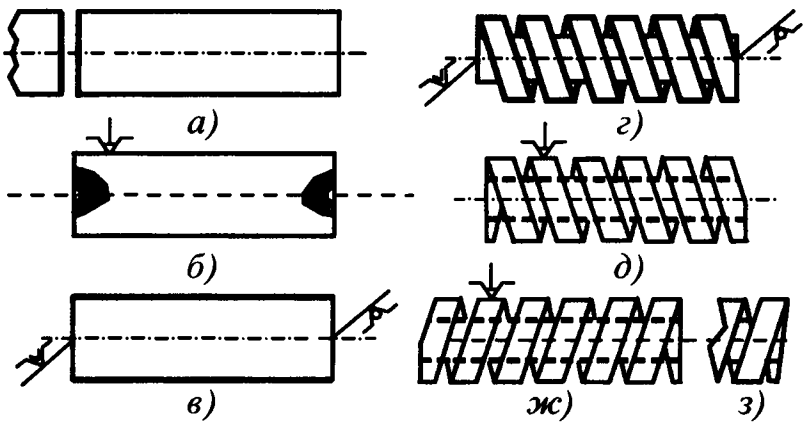


Рис. 1.75. Эскизы изготовления буферной пружины:
а – отрезание заготовки от прутка; *б* – зацентровка заготовки с двух сторон; *в* – наружное обтачивание; *г* – нарезание винтовой канавки на наружной поверхности; *д* – высверливание, зенкерование, развертывание внутренней части; *ж* – зенкерование и развертывание отверстия; *з* – подгибание крайних витков пружины

После отрезания партии заготовок они подвергаются нормализации. Затем заготовки зацентровываются с обоих торцев (см. рис. 1.75, *б*). В рифленом (переднем) и вращающемся (заднем) центрах заготовка протачивается снаружи.

При том же базировании на наружной поверхности прорезается винтовая канавка (рис. 1.75, *г*) с определенным шагом и глубиной.

На следующей операции подрезаются торцы и высверливается внутренняя часть заготовки (рис. 1.75, *д*) при установке наружной поверхностью в самоцентрирующее приспособление, потом это отверстие зенкеруется и развертывается (рис. 1.75, *ж*).

После нагрева торцевых витков они поджимаются до соприкосновения с основными витками (рис. 1.75, *з*).

Следующие операции – шлифование наружной поверхности и торцев заготовки и термообработка пружины (закаливание и отпуск) с получением 49...53 HRC.

После термообработки пружина заневоливается до соприкосновения витков и в таком состоянии выдерживается в течении суток, после чего внутренняя поверхность развертывается на окончательный размер, шлифуется по наружной поверхности (с шероховатостью *Ra* 1,25) и по торцам.

Слесарной обработкой притупляются острые кромки и пружина проверяется на рабочие параметры принципиально так же, как было сказано выше, но из-за того, что пружина более жесткая, чем другие типы, она требует приложения силы не в сотни ньютонов, а в тысячи. В связи с этим испытания производят на разрывных машинах.

Заключительной операцией по обработке пружины является химическое фосфатирование с последующей окраской черным лаком и клеем БФ-2 или БФ-4.

1.12. Сборка изделий

Сборка – одна из важнейших составляющих процесса производства изделий.

Обычно производимые изделия состоят из деталей и сборочных единиц.

Деталь – изделие, изготовленное из однородного по марке материала без сборочных операций.

Сборочная единица – изделие, составные части которого соединяются между собой на сборочных операциях.

Изделие – предмет производства, предназначенный для поставки (реализации).

Любое изделие, предназначенное для реализации, редко состоит из одной детали. В подавляющем большинстве случаев в машиностроении осуществляется процесс соединения деталей между собой в узел (сборочную единицу) или в собственно машину. Отсюда следует, что **сборка** – это *совокупность операций по соединению деталей в определенной технически и экономически целесообразной последовательности для получения сборочных единиц и изделий, полностью отвечающих установленным для них требованиям.*

Процесс сборки значительно влияет на качество изделий, выпуск их в заданные сроки.

Трудоемкость сборочных операций в общей трудоемкости изготовления изделий достаточно велика и зависит от типа производства и типа изделий (см. табл. 1.11).

В качестве примера – на сборку средних станков тратится 25...30% от всей трудоемкости их производства.

Сборка производится:

1) на заводе-изготовителе деталей;

2) на головном предприятии;

3) на месте эксплуатации (особо крупные изделия: прессы, турбины и т.п.);

4) на сборочном предприятии.

Автоматические стрелково-пушечные изделия, практически, всегда собираются на предприятиях-изготовителях деталей. Ствольные трубы, верхние и нижние станки, механизмы перезарядки и др. обычно собираются в цехах, где они и изготавливались. Полностью изделия собираются в сборочных цехах.

1.11. Примерные соотношения трудоемкости процесса сборки от общей трудоемкости изготовления изделий

Тип производства	Трудоемкость сборки от общей трудоемкости изделия, %
Единичное	35...40
Серийное	25...35
Массовое	20...30

Перед организацией технологического процесса сборки необходимо иметь следующую (*исходную*) документацию:

1. Сборочный чертеж изделия с необходимыми видами, проекциями, сечениями и спецификацией.
2. Технические требования на выполнение и контроль соединений: размеры и посадки, обеспечиваемые сборкой, точность взаимного расположения собираемых деталей (перекосы, биения, жесткость стыков, моменты затягивания резьб, пятна контакта для зубчатых зацеплений и т.п.).
3. Технические требования на контроль и приемку собираемого изделия.
4. Программа выпуска данных изделий.
5. Предполагаемый срок начала и окончания их выпуска.
6. Справочные материалы:
   а) каталоги сборочного и подъемно-транспортного оборудования;
   б) альбомы сборочно-технологической оснастки;
   в) нормативы по нормированию сборочных работ;
   г) примеры сборочных технологических процессов аналогичных изделий.

1.12.1. Классификация типов соединения деталей при сборке

Основные типы соединения деталей при сборке даны в табл. 1.12.

1.12. Классификация типов соединений при сборке изделий (процент применения в конструкциях машин)

Конструктивные признаки		Технологические признаки	По форме сопрягаемой поверхности
Неподвижные:		Резьбовые	
– разъемные	(5 %)	Прессовые	Вал-втулка (35...40 %)
– неразъемные	(15 %)	Сварные	Плоскость (15...20 %)
		Заклепочные	Резьба (15...20 %)
Подвижные:		Паяные	Конус (6...7 %)
– разъемные	(45 %)	Клеевые	Сфера (2...3 %)
– неразъемные	(5 %)	Вальцовочные	

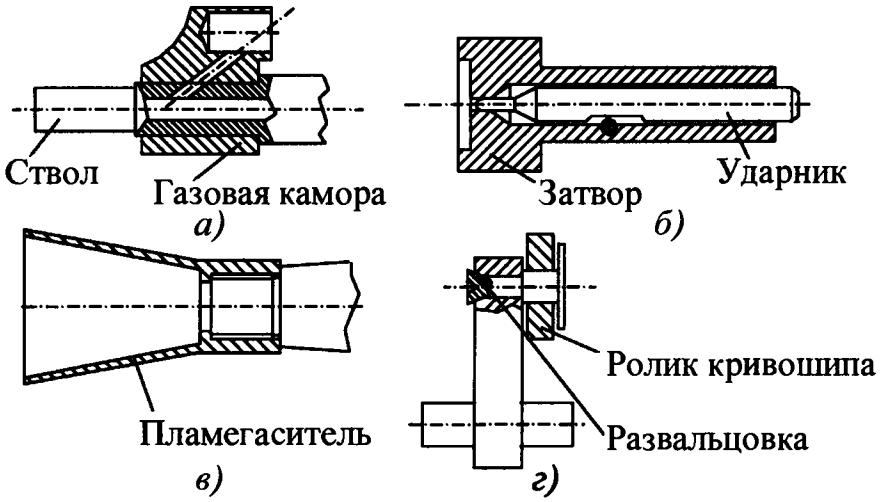


Рис. 1.76. Примеры сборочных единиц, представленных по конструктивному признаку: *а* – неподвижное неразъемное; *б* – подвижное разъемное; *в* – неподвижное разъемное; *г* – подвижное неразъемное

Примеры некоторых сборочных единиц по конструктивным признакам даны на рис. 1.76.

1.12.2. Этапы организации процесса сборки

Процессу собственно сборки обычно предшествуют следующие этапы:
– разбивка изделий на сборочные единицы;
– определение размера собираемой партии;
– разработка технологической схемы сборки;
– разработка технологического процесса сборки;
– нормирование технологического процесса сборки.

1.12.2.1.Разбивка изделий на сборочные единицы

Разбивка изделий на сборочные единицы – одна из главных работ при проектировании сборки. Удачное членение изделия на сборочные единицы (узлы) позволяет повысить производительность за счет сборки этих узлов независимо друг от друга, в разных цехах, параллельно друг с другом.

Такая узловая сборка позволяет поднять качество собираемых изделий, т.к. сборочные единицы (узлы) могут иметь более удобное специа-

лизированное производственное и испытательное оборудование. В таких условиях можно испытывать собранные узлы на стендах, имитирующих рабочие (если необходимо, то и повышенные) режимы эксплуатации.

Разбивка изделий на сборочные единицы осуществляется по следующим признакам:

конструктивным, когда узел в изделии выполняет определенную функцию: пневмоперезарядки, тормоза отката, накатника, ствола и т.п.;

сборочным, когда узлы могут собираться независимо друг от друга, а затем соединяться вместе в изделие;

конструктивно-сборочным – этот признак, практически, всегда и используется в реальных конструкциях изделий.

Желательно, чтобы сборочные единицы изделий обладали рядом свойств, ускоряющих процесс сборки:

– оптимальные габариты и количество собираемых деталей и подгрупп;

– примерно одинаковые трудоемкости.

Сборочные единицы после сборки в изделие не должны подвергаться разборке.

В реальных условиях изготовления изделий, безусловно, эти пожелания могут не выдерживаться из-за неодинаковой сложности конструкции сборочных единиц, различия эксплуатационных требований, значительной разницы в габаритах.

1.12.2.2. Размер собираемой партии

Количество сборочных единиц в партии желательно определять так, чтобы исключить простои цеха основной сборки из-за неподачи на общую сборку узлов, а также с учетом минимальных стоимостных затрат на сборку партии узлов. Принципиальный график для определения оптимального размера партии по минимуму стоимостных затрат дан на рис. 1.77.

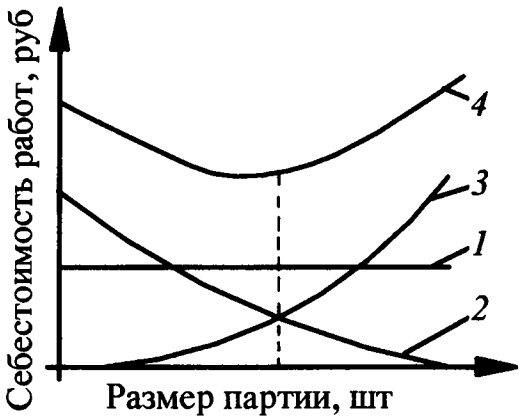


Рис. 1.77. График определения оптимального размера собираемой партии сборочных единиц:
1 – себестоимость сборки сборочной единицы; *2* – стоимость переналадки и простоя сборочного оборудования; *3* – затраты на незавершенное производство, включая хранение и занимаемые площади; *4* – суммарная кривая стоимости сборки

1.12.2.3. Технологическая схема сборки

Технологическая схема сборки – важный документ в организации сборочного процесса. Эта схема разрабатывается на основании сборочного чертежа изделия.

Начало разрабатываемой схеме кладет базовая деталь изделия, к которой в дальнейшем крепятся другие детали и сборочные единицы. Заканчивается схема символом, обозначающим готовое изделие. Построение технологической схемы сборки показано на рис. 1.78.

В случае выполнения по ходу сборки каких-либо иных действий: механической обработки, клепки, сварки, контроля какого-либо параметра и т.п., – эти действия даются на выносках (рис. 1.78, *б*, *в*).

Иногда в общей технологической схеме сборки символы сборочных единиц (узлов) даются подробно; такая схема называется развернутой.

Как правило, развернутые схемы для сложных изделий получаются громоздкими, трудно читаемыми, т.к. в сборочные единицы часто входят не только детали, но и сборочные единицы второго и более высокого порядка.

Построение технологических схем сборки для одного изделия обычно многовариантно. При составлении схемы сборки рекомендуется анализировать размерные цепи изделия и сборку начинать с наиболее сложной и ответственной цепи. В каждой размерной цепи сборка оканчивается установкой деталей, которые образуют ее замыкающее звено.

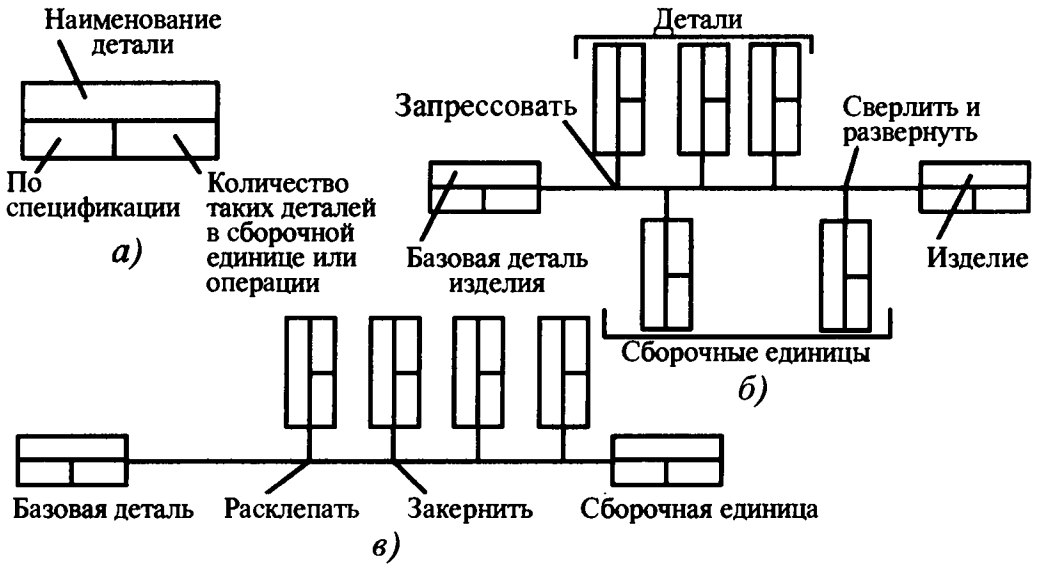


Рис. 1.78. Примеры построения технологических схем сборки:
а – элемент схемы; *б* – общая схема; *в* – схема сборки сборочной единицы (узла)

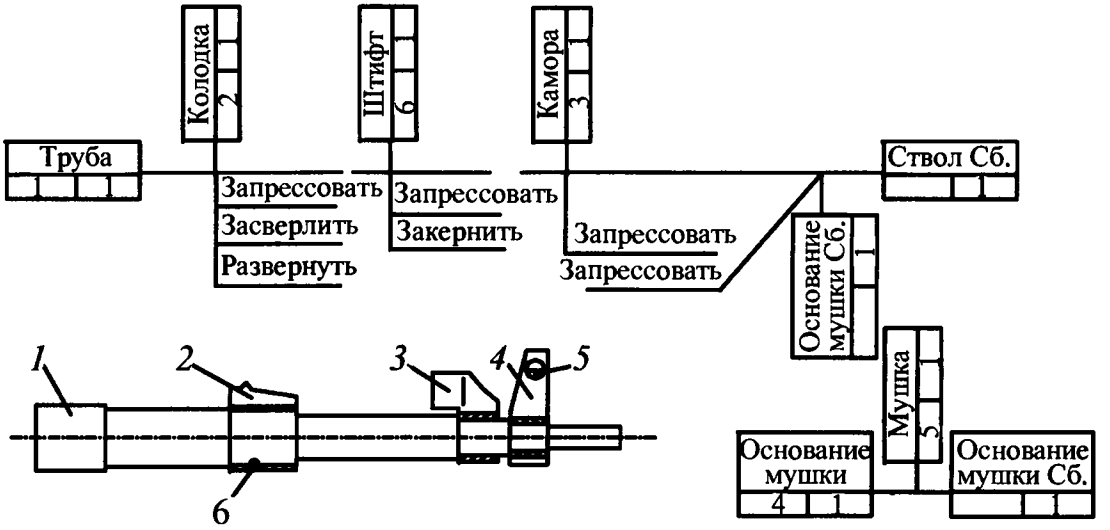


Рис. 1.79.Пример построения технологической схемы сборки узла «Ствол Сб»:
1 – ствол; *2* – колодка прицела; *3* – газовая камора; *4* – основание мушки; *5* – мушка; *6* – штифт

На рис. 1.79 дан пример составления технологической схемы сборки узла «ствол».

1.12.2.4. Разработка технологического процесса сборки

В серийном производстве технологический процесс сборки разрабатывается в такой последовательности:

– анализ исходных данных;
– составление технологических схем и их анализ;
– определение размера партии собираемых изделий;
– выбор организационных схем сборки (поточная, непоточная);
– выбор технологических баз;
– подробная разработка содержания каждой сборочной операции;
– выбор необходимого оборудования;
– определение норм времени.

В результате разработки технологического процесса сборки изделия создается следующая документация:

Маршрутная карта – описание технологического процесса сборки изделия по всем (как чисто сборочным, так и по сварочным, механической обработки, запрессовочным и т.п.) операциям в технологической последовательности с указанием оборудования, оснастки, норм времени.

Операционная карта – описание технологической операции по переходам с режимами, оборудованием, технологической оснасткой и нормами времени.

Карта эскизов – поясняет выполнение сборочного процесса, операции, перехода.

Технологическая инструкция содержит описание приемов работы или технологических процессов, правила эксплуатации технологического оборудования.

Комплектовочная карта – перечень деталей, сборочных единиц, материалов, входящих в комплект собираемого изделия.

Ведомость оснастки – перечень технологической оснастки, стандартной и специально разработанной для выполнения данного технологического процесса.

1.12.2.5. Нормирование сборочных работ

Нормирование сборочных работ возможно вести дифференцированно и по укрупненным показателям [7]. При нормировании сборочных работ затраты труда не разделяются на основные и вспомогательные, поэтому в нормативах дано оперативное время.

Штучно-калькуляционное время на сборочную операцию при нормировании по дифференциальным нормативам вычисляется как:

$$t_{\text{шт.к}} = \sum t_{\text{оп}\,i} K_{\text{п.з}} K_{\text{парт}} K_{\text{уд}},$$

где $t_{\text{оп}\,i}$ – оперативное время на выполнение одного элемента – перехода слесарно-сборочной операции (определяется по общемашиностроительным или отраслевым нормалям); $K_{\text{п.з.}}$ – коэффициент, учитывающий время на подготовительно-заключительную работу, обслуживание рабочего места, отдых и личные надобности и зависящий от типа производства, числа изделий в партии и трудоемкости выполнения операции; $K_{\text{парт}}$ – коэффициент, учитывающий размер партии собираемых сборочных единиц, сборочных работ; $K_{\text{уд}}$ – коэффициент, учитывающий степень удобства выполнения элемента.

Значения коэффициентов даны в табл. 1.13 и 1.14.

1.13. Коэффициенты для расчета штучно-калькуляционного времени при сборочных работах для различных типов производства

Количество сборочных единиц в партии	Единичное (мелкосерийное)		Серийное	
	$K_{парт}$	$K_{п.з}$	$K_{парт}$	$K_{п.з}$
1	1,3	1,15	1,1	1,09
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
10	0,7	1,09	0,7...0,8	1,04

1.14. Коэффициенты учета удобства положения сборщика при сборочных работах

Положение сборщика при работе	$K_{уд}$
Удобное, установка детали сверху, сбоку	1,0
Установка детали снизу в труднодоступных местах	1,2
Установка детали при ее потолочном расположении	1,3
То же, лежа на спине, на боку, на животе	1,6

1.12.3. Организация сборки автоматических пушек и стрелкового автоматического оружия

Организация сборки в заводских условиях во многом зависит от типа производства. При единичном и мелкосерийном производстве сборка проводится на специально оборудованных рабочих местах – верстаках.

Рабочее место слесаря-сборщика автоматических пушек обычно представляет собой верстак с набором инструментов необходимых для сборки, на котором установлено приспособление для закрепления собираемого изделия.

Схема такого приспособления дана на рис. 1.80.

В приспособлении собираемое изделие *1* закрепляется во внутреннем корпусе *3* зажимным винтом *4*. Внутренний корпус *3*, благодаря роликам *7*, позволяет собираемому изделию вращаться вокруг горизонтальной оси, помогая сборщику работать с изделием с любой стороны. Кроме

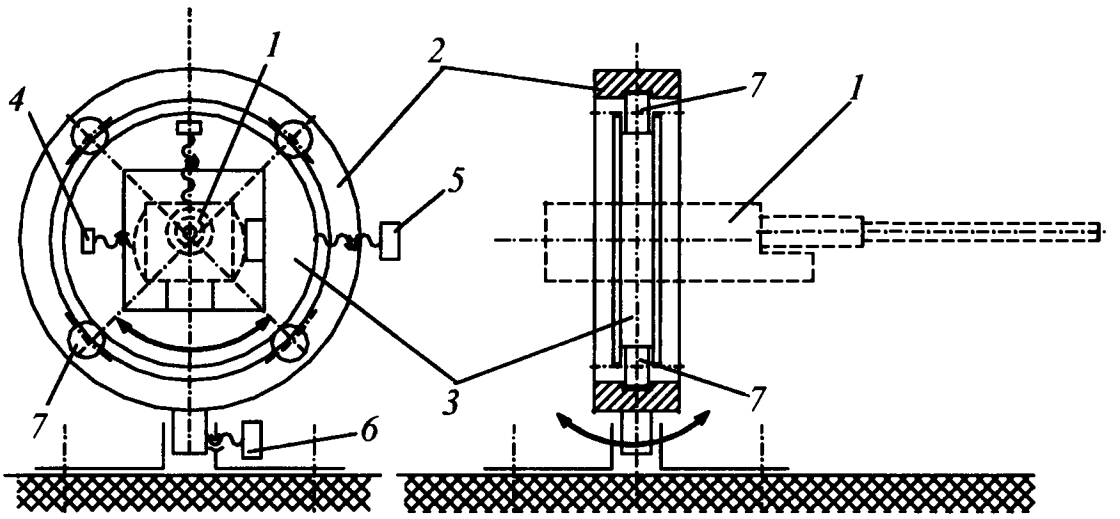


Рис. 1.80. Схема приспособления для закрепления автоматических пушек при сборке: *1* – собираемое изделие; *2* – корпус наружный; *3* – корпус внутренний; *4* – зажим изделия; *5* – зажим внутреннего корпуса; *6* – зажим поворота; *7* – опорный ролик

того, приспособление может вращаться и относительно вертикальной оси, что также может быть необходимым при сборке. В любом удобном для сборки положении изделие стопорится.

В случае конвейерной сборки пушек такое приспособление устанавливается на каждой палете конвейера.

При крупносерийном и массовом производстве сборка ведется на конвейерах.

Схема одного из вариантов такого сборочного конвейера показана на рис. 1.81.

Конвейер работает как бесконечная лента, состоящая из соединенных между собой палет со сборочными приспособлениями. При полной сборке пушки она снимается с палеты и пустая палета уходит под пол. На сборку с левого конца конвейера (по схеме) выходит палета, готовая принять новое изделие.

Во время Великой Отечественной войны производилась конвейерная сборка не только стрелкового оружия, но и авиационных пушек.

На рис. 1.82 представлена фотография цеха одного из заводов с конвейером по сборке пушек.

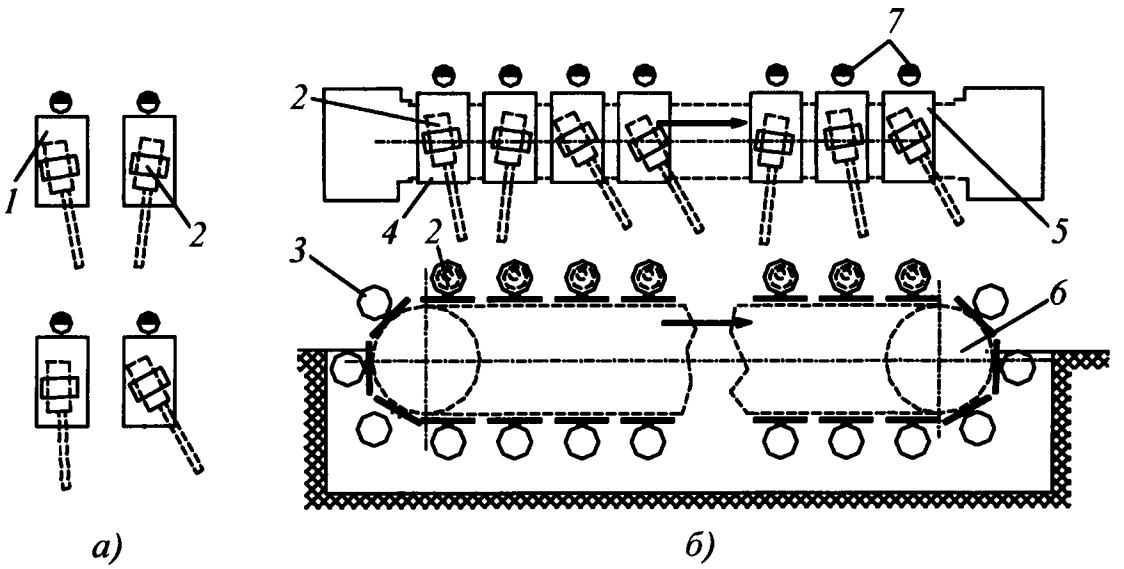


Рис. 1.81. Схемы организации сборочных работ изделий:
а – полная сборка изделия на индивидуальном рабочем месте; *б* – полная сборка изделия на ленточном конвейере; *1* – индивидуальные рабочие места слесарей-сборщиков; *2* – собираемые изделия; *3* – пустое сборочное приспособление; *4* – начальная палета конвейера со сборочным приспособлением и изделием; *5* – конечная палета со сборочным приспособлением и изделием; *6* – приводной барабан конвейера; *7* – рабочие места сборщиков на конвейере

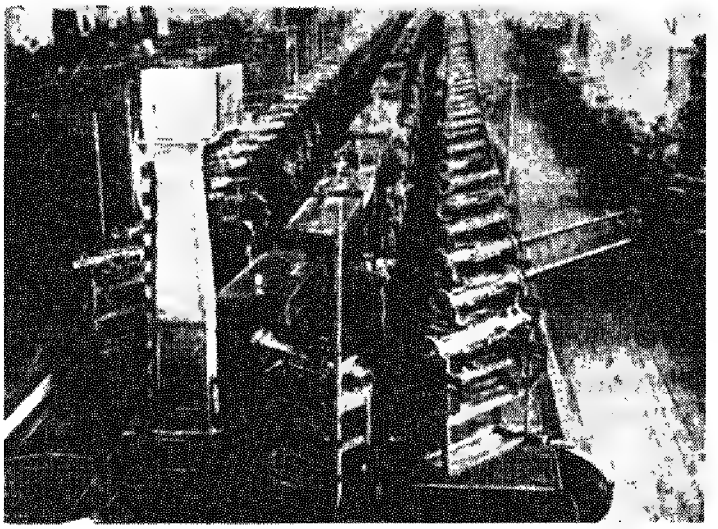


Рис. 1.82. Конвейер по сборке авиационных пушек на одном из оборонных заводов во время Великой Отечественной войны

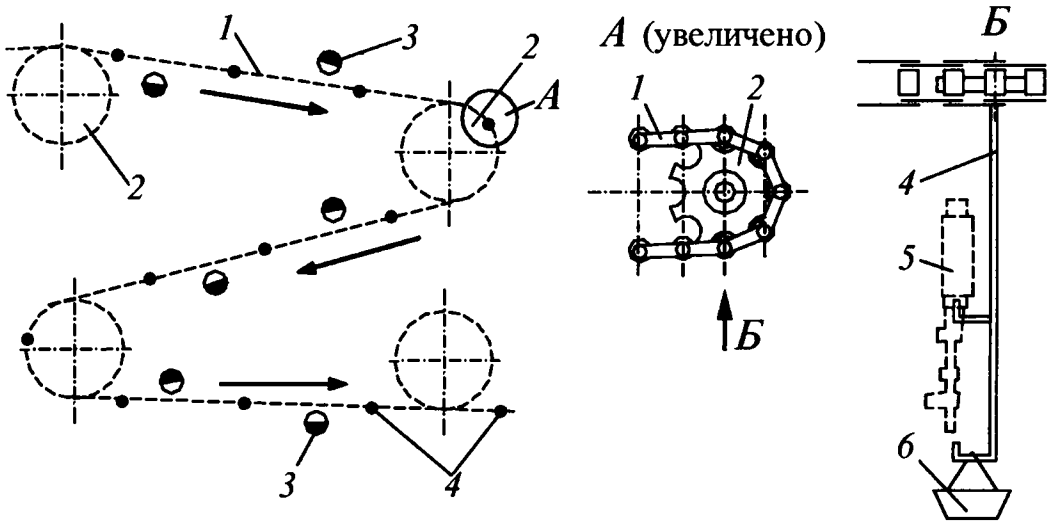


Рис. 1.83. Схема подвесного конвейера для сборки изделий:
1 – цепь конвейера; *2* – приводные звездочки цепи; *3* – рабочие места сборщиков; *4* – подвески на цепи для собираемых изделий; *5* – собираемое изделие; *6* – тара для комплектующих деталей

При сборке стрелковых систем в массовом производстве применяют цепные конвейеры (рис. 1.83).

Конвейеры такого типа имеют в сборочном цехе прикрепленные к потолку приводные звездочки *2*, между которыми натянута пластинчатая цепь *1*. При вращении одной из звездочек от привода вся цепь перемещается с определенной скоростью. На звенья цепи крепятся подвески *4*.

На начальной позиции подвески на ней подвешивается базовая сборочная единица (чаще всего подсборка ствола) и в процессе перемещения цепью на нее на каждом рабочем месте *3* подсобираются детали в последовательности, предусмотренной технологическим процессом.

С подвески последнего рабочего места снимается собранное изделие.

1.13. Испытания изделий

При постановке на вооружение изделия проходят так называемые квалификационные испытания – жесткий контроль по определению надежности функционирования в условиях, в которых изделие может работать при его прямом применении. Контроль заключается в проверке надежной работы в различных климатических условиях, для чего изготавливаются камеры с возможностью создания условий повышенных и пониженных температур, дождевания или запыленности.

После каждого режима изделие проверяется на безотказность работы стрельбой.

При наличии в изделии электрических устройств они проверяются на надежность срабатывания и электробезопасность.

Все испытания проводятся при участии комиссии в составе представителей заказчика (ВП – военная приемка), завода, ОТК. По результатам испытаний составляется протокол, в котором отмечаются выявленные недостатки, оговариваются сроки их исправления, а изделия, выдержавшие испытания после чистки, пакуются, пломбируются ВП и сдаются на склад завода на ответственное хранение.

Положительными результатами считаются такие, когда изделие прошло испытания в полном объеме и были выполнены все технические требования (ТТ), а отрицательными – когда обнаруживается несоответствие хотя бы одному требованию.

Контроль может быть выборочным и сплошным. Проверяемые изделия поступают на испытания индивидуально или партиями. При этом все изделия в партии должны быть комплектны.

Контроль при этом ведется путем визуального осмотра, измерений зазоров, положений деталей друг относительно друга, отсутствия на деталях трещин, забоин, повреждения покрытий и, главное, функционированием изделий. При замене в изделии сменного элемента испытания продолжаются в соответствии с программой. При повторном выходе из строя сменного элемента изделие снимается с испытаний. После анализа причин отказа изделие отправляется или на доработку, или в изолятор брака.

Повторные испытания таких изделий проходят по полной программе.

При испытаниях не допускаются подстройки и подрегулировки – если они не оговорены в ТТ.

Средства контроля обязаны пройти аттестацию на метрологические характеристики в оговоренные сроки.

После изготовления стрелково-пушечных изделий они проходят испытания, в основном, трех видов: приемосдаточные испытания (ПСИ); периодические испытания (ПИ); типовые испытания (ТИ).

1.13.1. Приемосдаточные испытания

Их цель – проверка пригодности изделия для выполнения ими их прямых функций.

ПСИ проходит каждое изделие по программам, предусмотренными ТТ на испытуемое изделие.

В программу испытаний могут входить проверки механики, электрики, пневматики, гидравлики, электроники, работающих в изделии, а также меткости и кучности стрельбы.

1.13.2. Периодические испытания

Их цель – проверка стабильности обеспечения качества изделий в течение определенного срока и работы применяемых технологических процессов.

Проходят в сроки, оговоренные в ТТ, с изделиями, принятыми и оплаченными заказчиком (эти сроки: месяц, квартал, полгода, год).

Программы ПИ содержат виды испытаний, объемы, места их проведения, необходимые приборы и их технические характеристики.

После ПИ комиссией составляется акт, оценивающий качество изделий.

При невыдержанных ПИ отгрузка изделий потребителю приостанавливается, а отгруженные изделия дорабатываются или заменяются.

Повторные ПИ проводятся, как правило, на двойном количестве изделий.

1.13.3. Типовые испытания

ТИ проводятся с целью оценки эффективности и целесообразности изменений в изделии, применения новых технологических процессов изготовления. ТИ подтверждают сохранение или улучшение эксплуатационных характеристик изделия.

Типовые испытания проходят по программам ПСИ и ПИ. При подтверждении целесообразности таких изменений они вводятся в техническую документацию.

В качестве примера объема и условий проведения испытаний ниже представлены основные ТТ по испытаниям изготовленного автомата Калашникова (АК), интересные с точки зрения их применения для самого массового образца автоматического оружия.

АК в процессе изготовления и сборки проходит ряд испытаний:

– проверку термообработки деталей;

– испытание готовых стволов патронами с высоким давлением;

– испытание собранных автоматов на прочность патронами с усиленным зарядом;

– приведение к нормальному бою;

– проверку надежности действия механизмов стрельбой;

– проверку на взаимозаменяемость;

– испытание большим числом выстрелов на живучесть и надежность.

Первые пять испытаний относятся к ПСИ, последние два – к ПИ.

Большинство деталей автомата подвергается 100% проверке качества термообработки: ствол, затвор, затворная рама, шток, стержень, шептало, курок, газовая камора и другие.

1.13.4. Испытание готовых стволов патронами с высоким давлением

Производится двумя выстрелами патронами, развивающими давление в стволе 400 ± 10 МПа в специальном приборе. Проверка после выстрелов ведется по патроннику и каналу ствола калибрами, визуально и на дефектоскопе проверяются наличие трещин, раздутий.

1.13.5. Испытание собранных автоматов на прочность

Производится двумя патронами с усиленным зарядом. Они развивают давление в стволе от 345 до 310 МПа. После таких выстрелов автомат не должен иметь механических повреждений: трещин, раздутий и т.п.

Стреляные гильзы не должны иметь обрывов, грубых отпечатков. Допустимые отпечатки регламентируются эталоном. Осветления на гильзе не ограничиваются.

1.13.6. Приведение к нормальному бою

Происходит после выверки прицельной линии. Дистанция стрельбы – 100 м, количество одиночных выстрелов – 4.

Бой нормальный, когда средняя точка попадания (СТП) 4-х выстрелов в мишень вмещается в круг диаметром 15 см. Если все четыре попадания не вмещаются в такой круг – СТП определяется по трем наиболее близко расположенным друг к другу попаданиям при одном явно оторвавшемся.

При неудовлетворительных результатах прицельная линия корректируется перемещением мушки, после чего пристрелка повторяется. Число корректировок положения мушки (в пределах возможности ее посадочных мест) и пристрелок не ограничивается.

1.13.7. Проверка надежности действия механизмов стрельбой

Проверка ведется с упора приклада в амортизатор, усилие которого при предварительном поджатии 8 кг при жесткости пружины 1,2 кг/мм (или в плечо).

Из каждого автомата производится 9 выстрелов, из них 2...3 одиночных, и двух очередей по 3...4 выстрела. Задержек на 9 выстрелов не допускается.

Если на 9 выстрелах произошла задержка, автомат проверяется осмотром, калибрами и правильностью взаимодействия механизмов.

При отсутствии отступлений автомат проверяется 120 выстрелами с магазином, с которым произошла задержка. Автомат считается надежным, если задержек при этом не будет. При получении задержки автомат возвращается цеху-изготовителю.

Магазины после этих проверок чистятся от нагара, идут на укупорку. Тара пломбируется и идет на склад.

Автоматы продолжают дальнейшие испытания, кроме тех, которые дают тугую экстракцию или обрыв гильзы. Принятые автоматы клеймятся ОТК.

От партии автоматов, принятых заказчиком, 1,5% автоматов, но не менее 5 штук, испытываются на взаимодействие механизмов. Из каждого автомата производится 180 выстрелов с магазинами, предназначенными для комплектации этих автоматов. Задержек не допускается. При задержке – визуальный контроль, проверка калибрами-лекалами и взаимодействия механизмов.

При обнаружении отступлений вся партия принятых автоматов передается цеху-изготовителю. После доработки автоматы принимаются на общих основаниях.

При отсутствии отступлений автомат, давший задержку, достреливается до 500 выстрелов с магазином, при котором произошла задержка. Если в течении этого настрела произойдет более одной задержки, из этого автомата производится еще 1500 выстрелов. Партия автоматов признается годной по взаимодействию механизмов, если на каждом автомате в этой выборке число задержек не превышает 0,2% от числа произведенных каждым автоматом выстрелов.

Если причина задержек явно не выражена, от партии берется удвоенное число автоматов, которые подвергаются контрольной стрельбе в том же порядке. При получении неудовлетворительных результатов вся партия отправляется на доработку и сдачу на общих основаниях.

Условия стрельбы: перед отстрелом и после 150 выстрелов автомат охлаждается погружением его в воду до окна для магазина, и последующая стрельба производится без протирки и смазки автомата. Первые 30 выстрелов после охлаждения производятся непрерывной очередью, остальные короткими очередями в 3–5 выстрелов и одиночными выстрелами (5...10 выстрелов). Разрешается использовать технологическое цевье.

1.13.8. Проверка на взаимозаменяемость

В первой половине первого месяца каждого квартала проводится проверка на взаимозаменяемость деталей автоматов. Пять принятых ВП автоматов от каждого месяца предыдущего квартала (всего 15) подвергаются осмотру, взвешиванию, проверке калибрами и отстрелу на кучность.

Нормы кучности боя: при отстреле квалифицированным стрелком на дальность 100 м среднее значение трех серий по 20 выстрелов не должно превышать при одиночном огне $C_б$ = 10 см, $C_в$ = 10 см. При автоматическом: $C_б$ = 20 см, $C_в$ = 20 см.

После этого автоматы разбираются, детали перемешиваются, и автоматы снова собираются без подбора и пригонки. Разборка и сборка производится штатной принадлежностью.

Собранные автоматы проверяются стрельбой на безотказность по программе, изложенной выше. Недостатки, выявленные при проверке, устраняются заводом в кратчайший срок.

1.13.9. Испытание большим числом выстрелов на живучесть и надежность

Цель – более полная проверка безотказности действия и прочности деталей автомата. Производится раз в квартал.

Один автомат (принятый и оплаченный заказчиком) проверяется отстрелом в 15 000 выстрелов, из них 5000 – факультативно. Отстрел производится с амортизатора из магазинов, приданных к автомату.

После каждых 150 выстрелов производится охлаждение ствола водой через канал, не смачивая цевья и ствольной накладки. Режим огня такой же, как при испытании на безотказность действия. Чистка, наружный осмотр деталей и смазка через каждые 2500 выстрелов. После 5000 выстрелов дополнительно проверяются:

- канал ствола непроходными калибрами;
- узел запирания непроходной шашкой;
- выход ударника;

– положение зацепа выбрасывателя относительно зеркала и чашечки затвора;

– усилие спуска;

– качка штока;

– состояние канала ствола.

Проверка усилий пружин (боевой, возвратной и выбрасывателя) и дефектоскопирование основных деталей производится до испытаний, после 10 000 и 15 000 выстрелов.

Кучность боя проверяется в начале и после 10 000 выстрелов тремя сериями по 20 выстрелов одиночным огнем и группками по 3–5 выстрелов тоже тремя сериями по 20 выстрелов автоматическим огнем.

Увеличение $C_б$ и $C_в$ после 10 000 выстрелов допускается не более, чем в два раза по сравнению с этими показателями перед началом испытаний (10 × 10 см и 20 × 20 см) соответственно.

На первых и последних 2500 выстрелах автомат отстреливается с примкнутым штыком-ножом.

Замеряются в начале испытаний и после 10 000 выстрелов начальная скорость пули и скорость перемещения подвижной системы (при наличии приборов).

Испытание выдержано, если на 10 000 выстрелов число задержек не превышает 0,2 % и не произошло ни одной поломки основных деталей.

Трещины на деталях, видимые невооруженным глазом или выявленные на дефектоскопе после 10 000 выстрелов, не вызвавшие нарушения нормальной работы механизмов, не являются признаком недостаточной живучести деталей. Но заводом производится их анализ и прорабатываются меры для их предупреждения в дальнейшем.

Трещины в желобе цевья и в местах склейки, вызванные форсированным режимом огня и высокой влажностью, а также трещины на дне кожуха в месте ударов замедлителя и трещины на заднем торце крышки ствольной коробки, допускаются, если после 10 000 выстрелов служебные свойства не нарушаются и обеспечивается настрел до 15 000 выстрелов.

Автомат не выдерживает данное испытание, если происходит более одной поломки детали, кроме ствольной коробки, рамы затворной, затвора и ствола или превышение процента задержек более чем в два раза допустимого.

Завод обязан в месячный срок установить причины отступлений, устранить их в производстве и провести проверку живучести на одном автомате.

В том случае, когда причину поломки детали установить невозможно, проводятся испытания на живучесть двух автоматов текущего производства.

Исправлениям по выявленным недостаткам при испытаниях на живучесть подвергаются все автоматы, находящиеся на заводе, в том числе и на складе готовой продукции.

1.13.10. Испытания автоматических пушек

Несколько сложнее организовываются испытания автоматических пушек калибром 23...30 мм. Испытания таких машин проходят обычно на контрольно-испытательных станциях (КИС).

КИС представляют собой полигон с боксами для отстрела пушек, лабораторию, где определяют темп стрельбы, начальные скорости снаряда, скорости откатных частей, усилия воздействия движущихся частей на направляющие и буферные устройства и т.д.

Пример размещения пушек на КИС показан на рис. 1.84. Испытуемая пушка устанавлена на ложементах стенда. К ней крепятся датчики замеров необходимых параметров, трубопроводы подачи сжатого воздуха для перезарядки, подаются патронные ящики (на схеме не показаны).

В качестве примера, в табл. 1.15 показаны работы (этапы) проведения периодических испытаний автоматической пушки калибра 23 мм.

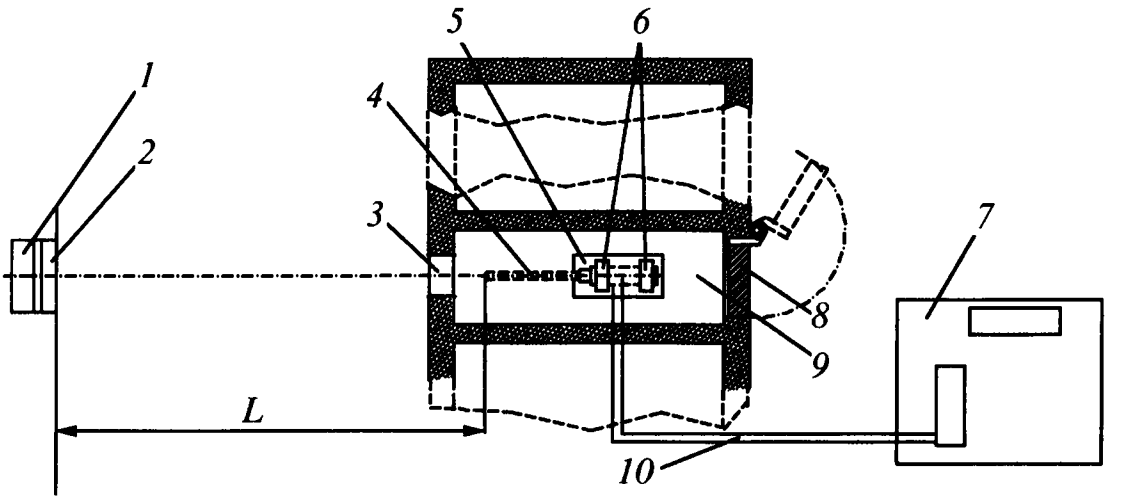


Рис. 1.84. Примерная планировка КИС для отстрела автоматических пушек:
1 – улавливатель снарядов; *2* – мишень; *3* – бойница; *4* – испытуемое изделие; *5* – стенд для установки пушки; *6* – ложементы крепления пушки к стенду; *7* – приборная лаборатория; *8* – бронедверь; *9* – бокс для испытания пушек; *10* – кабели вывода информации о работе пушки

№	Наименование работ, которые проводятся в ходе испытаний	Настрел пушки, после которого проверяется работа												
		0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Взвешивание пушки	+												
2	Проверка размеров деталей, зазоров, линейных и весовых характеристик пружин, согласно ведомости обмеров	+						+						+
3	Проверка на дефектоскопе деталей согласно разделу «Проверка после испытаний»	+												+
4	Замер характеристик электроспуска:													
	а) время срабатывания;	+												+
	б) время отпускания;	+												+
	в) определение рабочего тока;	+												+
	г) определение минимального напряжения срабатывания;	+												+
	д) сопротивление изоляции обмотки электроспуска;	+												+
	е) сопротивление обмотки катушек электроспуска	+												+

Продолжение табл. 1.15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5	Замер начальной скорости (средней по 10-ти выстрелам). В начале дается один выстрел без зачета	+												+
6	Замер характеристик пневмоподтяжки с подтягом ленты в 50 патронов: а) минимальное давление воздуха, при пневмоперезарядке должно быть не более 40 атм. Проверяется десятью перезарядками; б) определение расхода воздуха при давлении в 50 атм пятью перезарядками. Расход воздуха при одной перезарядке при давлении 50 атм и подтяге ленты в 50 патронов должен быть не более 20 литров; в) определение надежности работы пневмоперезарядки при давлении 70 атм пятью перезарядками	+ + +												+ + +
7	Запись велограммы движения ползуна при одиночном выстреле и при пяти автоматических без подтяга	+												+
8	Запись темпа стрельбы с записью осциллограммы (на чистой пушке и в конце настрела в 500 выстрелов при подтяге ленты в 50 патронов)	+						+					+	+

Продолжение табл. 1.15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
9	Замер усилий и величин отката и выката на стенде, имеющим жесткость 600 кг/мм. Производится один одиночный выстрел и десять автоматических выстрелов	+												+
10	Безотказность работы автоматики (подтяг ленты в 25 патронов). После настрела в 1000 выстрелов производится 100 выстрелов с постоянным подтягом ленты в 50 патронов													
11	Проверка надежности отражения после производства 100 выстрелов. В процессе стрельбы делается 7...10 перзарядок при давлении воздуха 50 атм	+												
12	Размеднение ствола					+		+		+		+	+	+
13	Испытание патронами, выдержанными при температуре +80°С в течение 4-х часов – 25 выстрелов (10 одиночных и 15 автоматических). При этом испытании задержек в работе автоматики, а также поперечных разрывов гильз не допускается	+												

1.13.11. Проверка лакового покрытия

Представляет некоторый интерес проверка качества лакового покрытия деталей из фанерных плит на истирание.

1. Сущность метода.

Сущность метода заключается в определении стойкости покрытия к истиранию при падении на него струи песка массой: 600 г (на приклад); 500 г (на рукоятку); 450 г (на цевье).

Прочность покрытия считается удовлетворительной, если указанное количество песка при падении не нарушило целостность лаковой пленки.

2. Аппаратура и материалы.

Для проведения испытаний применяется аппарат, состоящий из неподвижного штатива, прикрепленной к нему направляющей трубки длиной 915 мм и внутренним диаметром 19 мм, конусной воронки, установленной на трубке, с выходным диаметром 5 мм и конусом 60°, подставки под углом 45° к горизонтали для установки детали, тары для падающего песка.

Аппарат должен иметь отвес или другое устройство для определения вертикального положения трубки.

Песок кварцевый природный, сетка латунная № 09 и № 05, тарированные мерки на 600, 500, 450 г песка.

Калибр 25 мм для проверки расстояния от нижнего конца трубки до испытуемой детали.

3. Подготовка к испытанию.

Испытываемые детали должны иметь равномерные покрытия без потеков. Кварцевый песок просеивается через сетки № 09 и № 05, промывается и просушивается. Проверяется вертикальное положение направляющей трубки по отвесу.

4. Проведение испытания.

Деталь устанавливается таким образом, чтобы струя песка падала под углом 45° к испытываемой поверхности вдоль оси детали. Деталь должна быть неподвижной.

Конец вертикально закрепленной трубки должен находиться на расстоянии 25 мм над испытываемой поверхностью.

Тарированной меркой берут песок и насыпают в воронку, из нее песок высыпается в направляющую трубку и струей падает на деталь. С детали песок ссыпается в ящик.

Проводят не менее трех испытаний на одной детали, при этом каждое испытание – на новом месте покрытия.

После проведения испытаний деталь подвергается визуальному осмотру.

Песок заменяется после 30-кратного использования.

Глава 2

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СТВОЛЬНЫХ ТРУБ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ ПУШЕЧНЫХ СИСТЕМ И НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПУШЕК

2.1. Производство ствольных труб артиллерийских пушечных систем

Ствол – важнейшая часть артиллерийского орудия. Он сообщает снаряду необходимую скорость, траекторию, устойчивость в полете. Под понятием «ствол» *принято считать сборочную единицу, состоящую из ствольной трубы, казенника с деталями его крепления на трубе, затвора с его механизмами и, в ряде случаев, дульного тормоза, эжекторного устройства, опорных обойм.*

Здесь рассматриваются основные требования к геометрии, материалам (сталям), основные операции по изготовлению ствольных труб.

Технические требования на ствольные трубы во многом зависят от конструктивных особенностей артиллерийских машин и эксплуатационных задач.

По конструктивному исполнению ствольные трубы бывают: моноблоками, скрепленными кожухом в казенной части, скрепленными по всей длине, свободными, составными. По форме и виду канала трубы бывают цилиндрическими и коническими (с уменьшением диаметра канала к дульной части), а также нарезными и гладкими.

В настоящее время гладкие и нарезные ствольные трубы чаще всего изготавливаются в виде моноблоков и труб, скрепленных в казенной части с кожухом.

Ствольная труба практически всегда имеет форму тела вращения относительно оси канала. На рис. 2.1 показан эскиз ствольной трубы.

В зависимости от применяемых в производстве контрольно-измерительных приборов, для каждого изделия утверждается методика проверки. Так, например, если прибор работает дискретно, то назначаются сечения, в которых ведется обмер; если прибор работает непрерывно, то назначаются границы обмера.

Типовые требования к выполнению этих поверхностей даны в табл. 2.1.

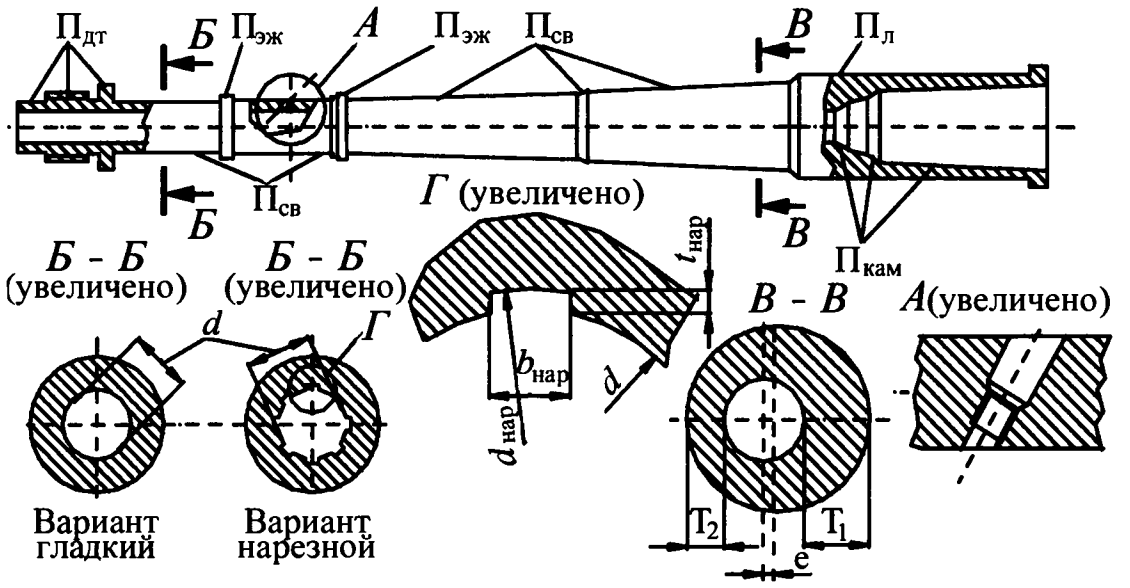


Рис. 2.1. Эскиз ствольной трубы-моноблока

2.1. Типовые требования по точности и шероховатости основных поверхностей ствольных труб среднего калибра

Поверхность	Квалитет точности	Примерный допуск, мм	Шероховатость *Ra*, мкм
Наружная посадочная поверхность:			
с люлькой ($П_л$)	9…10	0,08…0,12	2,5
с дульным тормозом ($П_{дт}$)	9…10	0,1…0,15	2,5
с эжектором ($П_{эж}$)	9…10	0,08…0,12	2,5
Наружная свободная поверхность ($П_{св}$)	11…12	0,3…0,8	*Rz* = 40
Поверхность канала и каморы:			
канала гладкого	8…9	0,06…0,12	1,25
полей	8…9	0,06…0,12	0,63…1,25
граней нарезов	8…9	0,06…0,12	2,5
дна нарезов	8…9	0,06…0,12	1,25…2,5
каморы	8…9	0,06…0,12	0,63…1,25

Примечание: Разностенность ($T_1 - T_2$) = 0,3…0,8 мм.

Труба при выстреле испытывает значительные механические и тепловые нагрузки: импульсные давления пороховых газов до 300...400 МПа, трение ведущих и удары центрирующих поясков о поверхность канала. Кроме того, пороховые газы при выстреле воздействуют на канал с температурой порядка 3000 °С химически и эрозионно. Динамические воздействия возникают и при перевозке артсистем, особенно по пересеченной местности.

Есть два вида технических требований к изготовлению ствольных труб.

Одни обеспечивают и подтверждают высокое качество металла трубы, другие – правильность геометрии поверхностей трубы.

В настоящее время наблюдается тенденция увеличения начальных скоростей снаряда, чаще всего за счет повышении массы заряда. Однако, последнее связано с неблагоприятным воздействием пороховых газов на канал и стенки трубы, что, в свою очередь, требует улучшения механических характеристик стали.

Высокое качество металла ствольной трубы обеспечивается определенным химическим составом стали и технологиями ее выплавки, изготовления заготовки и последующими термо- и механообработками. Качество металла заготовки контролируется механическими и металлографическими испытаниями образцов, выполненных из заготовки ствольной трубы.

Число образцов, место их расположения зависят от типа изделия, его габарита, типа производства. Кроме проверки на образцах, качество металла оценивается обязательным осмотром внешних и внутренних поверхностей трубы с целью обнаружения трещин, флокенов, раковин, неметаллических включений, расслоений. Внутренние дефекты выявляются приборами магнитного и ультразвукового контроля.

Правильность геометрии труб определяется построением технологических процессов механической и термической обработок. В свою очередь, правильность геометрии ствольных труб (особенно канала) влияет на меткость орудия.

Основные геометрические параметры канала приведены на рис. 2.2, а их сущность и примерный порядок величин для труб средних и крупных калибров – в табл. 2.2.

Тщательно контролируются также размеры и состояние наружных и внутренних поверхностей труб (см. рис. 2.1). В зависимости от типа поверхностей (посадочных, свободных, а также сопрягаемых с другими деталями изделия), вида посадок (подвижных или неподвижных) требования к ним по точности и шероховатости различны (см. табл. 2.1).

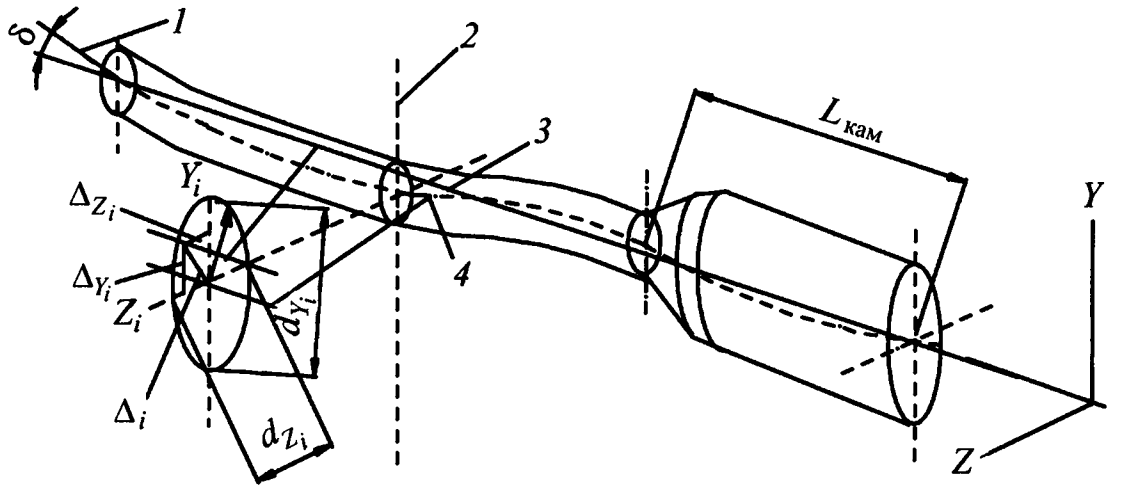


Рис. 2.2. Основные геометрические параметры канала ствола:
1 – касательная к действительной оси; *2* – текущее *i*-е поперечное сечение канала; *3* – геометрическая ось канала; *4* – действительная ось канала

2.2. Требования к точности изготовления канала ствола

Геометрические параметры канала	Примерный допуск
Диаметр канала в текущем сечении (d_{zi}, d_{yi}), мм	0,1…0,15
Отклонение от прямолинейности направляющей части канала, мм	0,7…1,5
Дульный угол δ:	
в ТД *	2…0,8
в градусах	0° 7,2'…0° 2,9'

* ТД – тысячные дистанции.

В зависимости от применяемых в производстве измерительных приборов, для каждого изделия утверждается методика проверки. Так, например, если прибор для измерения канала работает дискретно, то назначаются сечения, в которых производится обмер; если прибор работает непрерывно, то назначаются границы обмера.

2.1.1. Стали для ствольных труб

Детали артсистем испытывают значительные нагрузки, в основном динамические (от стрельбы и перевозки). Детали, непосредственно испытывающие нагрузку от пороховых газов, называются **командными**: ствольная труба (моноблок, кожух ствола, лейнерная труба), казенник, затвор. Остальные детали, хотя и получают значительные нагрузки при эксплуатации, называются **некомандными**: цилиндры и штоки противооткатных устройств, люльки, верхние и нижние станки, механизмы наведения, рычаги, кулачки, кронштейны и т.п.

Командные и некомандные детали изготавливаются из углеродистых или легированных качественных и высококачественных сталей.

Для обеспечения необходимых прочностных свойств ответственных деталей артсистем легирование производится хромом, никелем, молибденом, ванадием, вольфрамом. Химический состав некоторых сталей, применяемых в артпроизводстве, приведен в табл. 2.3.

2.3. Марки сталей, применяющихся для производства ствольных труб и их химсостав

Элементы	Содержание элементов, % по массе			
	30ХМА	30Х2Н2ВФА	30Х2Н2ВФМА	33ХН3МА (ОХН3МА)*
C	0,25…0,33	0,27…0,34	0,27…0,34	0,29…0,37
Si	0,17…0,37	0,17…0,37	0,17…0,37	0,17…0,37
Mn	0,40…0,70	0,30…0,60	0,30…0,60	0,50…0,80
Cr	0,80…1,10	1,60…2,00	1,60…2,00	0,80…1,10
Ni	≤ 0,40	1,40…1,80	1,40…1,80	2,5…3,00
W	–	1,20…1,60	1,20…1,60	–
V	–	1,18…0,28	0,18…0,28	–
Mo	0,15…0,25	–	0,20…0,35	0,20…0,30
S	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,03
P	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,03

* Часто стали, применяемые для производства деталей артсистем, вместо начальной цифры (содержания углерода) имеют букву «О».

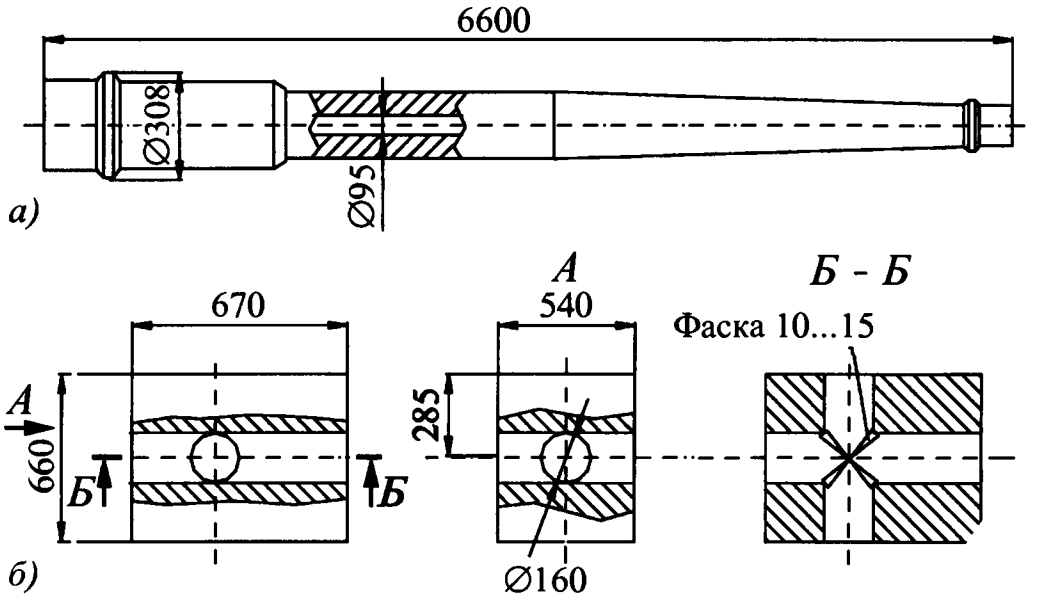


Рис. 2.3. Примеры заготовок ствольной трубы (*а*) и казенника (*б*) с отверстиями, уменьшающими толщину стенок деталей для лучшей прокаливаемости при термообработке

Легирующие добавки сообщают сталям необходимую прокаливаемость при значительных толщинах деталей. Например, для орудий средних калибров командные детали перед термообработкой имеют размеры: ствольные трубы в казенной части – до 400 мм, казенники – 600 × × 600 × 600 мм. Детали с такими значительными сечениями не могут быть получены с необходимыми прочностными свойствами, даже при применении высоколегированных сталей, поэтому заготовки стволов и казенников поставляются для термообработки с просверленными отверстиями, уменьшающими сечение стенок.

На рис. 2.3 показаны примеры таких заготовок для реальных систем.

Для уменьшения вероятности возникновения закалочных трещин острые углы заготовок притупляют фасками.

Как было сказано ранее, качество стали ствольных труб проверяется по двум критериям: механическим свойствам и структуре (микро- и макро-). Они определяются на образцах, изготовленных из заготовок, прошедших термообработку.

Для проверки свойств стали у каждой ствольной трубы, средних и крупных калибров, надо взять на пробу металл из казенной и дульной части. С этой целью от концов трубы отрезаются диски – **темплеты** *2*, 5 и *3*, *4* (рис. 2.4), из которых изготавливаются образцы для механических

испытаний (темплеты *2*, *5*) и для оценки микро- и макроструктуры (темплеты *3*, *4*).

В темплетах *2* и *5* по окружностям будущих отверстий (т.е. по поверхностям с максимальным нагружением при выстреле) размещаются образцы для определения:

а – предела пропорциональности $\sigma_{пц}$;

б – предела прочности $\sigma_в$;

в – относительного удлинения δ, %;

г – относительного сужения ϕ, %;

д – ударной вязкости $a_н$, дж/см^2;

е – твердости по Бринелю (НВ) или Роквеллу (HRC).

Показатели *а*, *г*, *д*, *е* являются основными, а *б* и *в* относятся к факультативным.

Орудия должны качественно функционировать при различных климатических условиях, поэтому механические характеристики определяются как при нормальных, так и при пониженных (возрастает роль ударной вязкости) температурах (–40 °С). Образцы для определения ударной вязкости при пониженной температуре выдерживаются несколько часов в термостате и устанавливаются на копер в течение нескольких секунд, чтобы образец не мог нагреться, и время переноса образца из термостата до излома записывается в протокол.

Для командных деталей применяется понятие «категория прочности», под которой понимается величина $\sigma_{пц}$, выраженная в МПа. **Категория прочности** на чертежах обозначается буквой «О» и цифрой (например, 800 или 1200). Для детали с О-1000$\sigma_{пц}$ – 1000 МПа.

Темплеты *3*, *4* предназначены для оценки микро- и макроструктуры. Для этого на них фрезеруются пазы, плоскость темплета со стороны этих пазов шлифуется. Темплеты ломаются по пазам, и по характеру излома судят о макроструктуре металла, а шлифованные поверхности травятся, и на металлографических микроскопах определяется микроструктура заготовки.

Следует отметить, что в казенной и дульной частях заготовки предусматривается припуск – «брос». **Брос** необходим для оценки свойств заготовки, которые будут истинными в отрезанных темплетах, так как торцовые зоны при термообработке заготовки охлаждаются дополнительно с торцов, поэтому свойства этих зон будут отличны от свойств основной заготовки.

Припуски для отрезки дисков-темплетов предусматриваются обычно для трех термообработок (на случай двух неудачных).

При получении необходимых свойств после первой термообработки этот припуск отрезается и идет на переплавку.

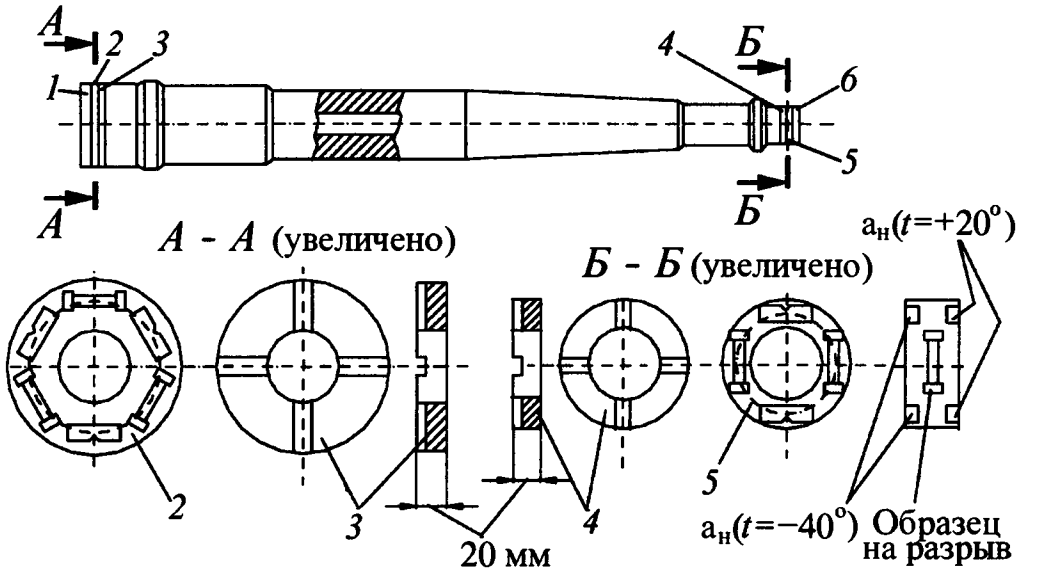


Рис. 2.4. Схема отрезки от торцов заготовки ствольной трубы дисков-темплетов:

1, *6* – брос, *2*, *5* – темплеты для образцов под механические испытания, *3*, *4* – темплеты для определения микро- и макроструктуры

Твердость заготовки после термообработки измеряется по образующей трубы. Места замера предварительно зачищаются от окалины наждачным кругом.

Для оценки качества ведения техпроцесса термообработки раз в квартал или полгода одна заготовка ствольной трубы разрезается на диски в зонах, определенных техническими условиями (ТУ).

Такая проверка носит название «Периодические испытания».

Пример такой разрезки для реальной заготовки дан на рис. 2.5.

Все работы по определению свойств материала заготовки планируются и производятся в отделе главного металлурга завода (ОГМет). Конструктора изделий эти работы согласовывают с главным металлургом.

Для некомандных деталей показателями механических свойств являются те же величины, но под категорией прочности материала принят предел текучести $\sigma_{0,2}$, а не предел пропорциональности $\sigma_{пц}$.

Заготовки для некомандных деталей могут идти в эксплуатацию как без термообработки, так и с термообработкой. В первом случае категория прочности ($\sigma_{0,2}$) обозначается индексом «К» с цифрой, например, К150… К300… К400. Цифра здесь обозначает предел текучести в МПа.

Такие заготовки используются после прокатки, ковки, штамповки, отжига, нормализации.

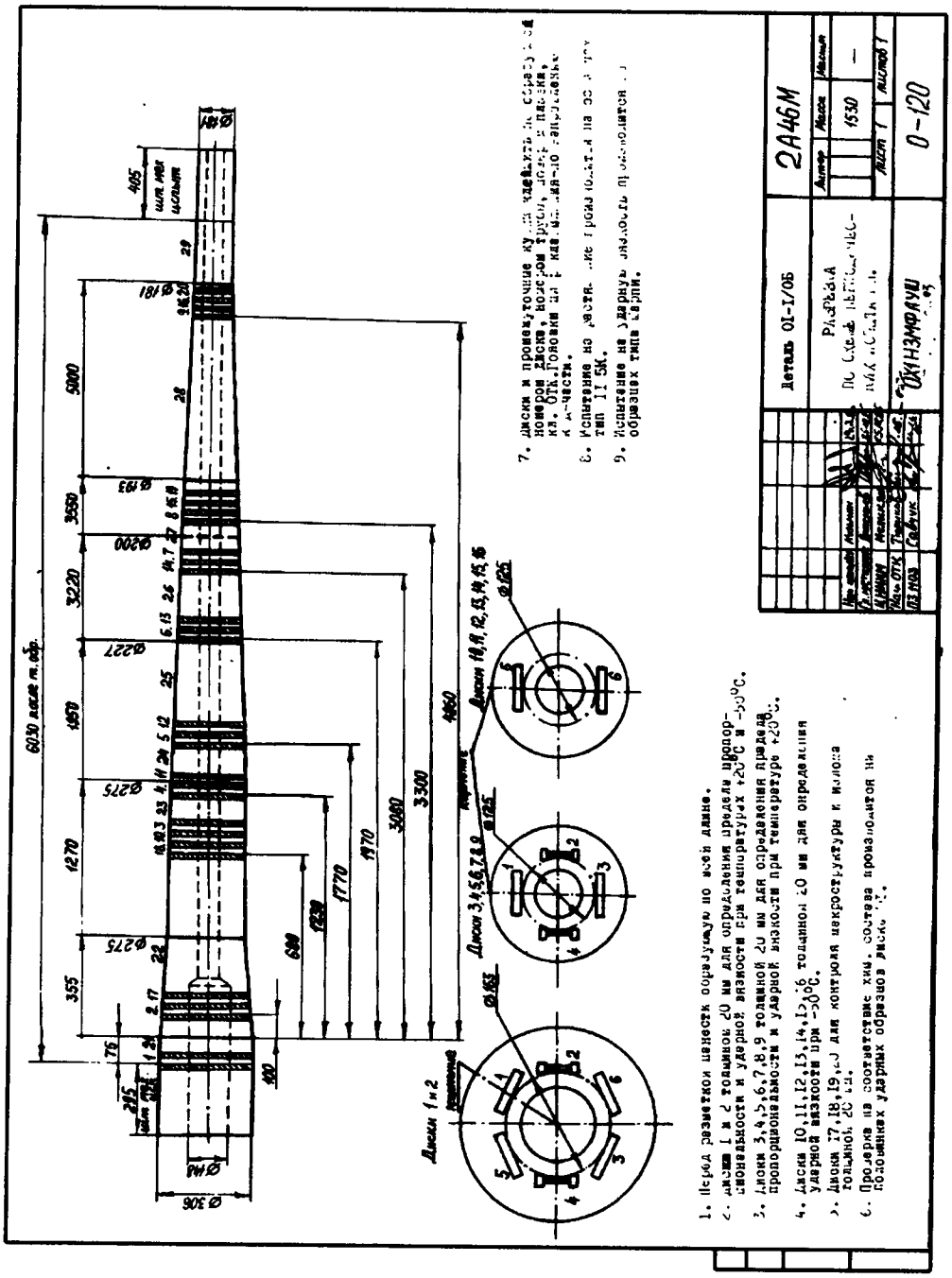


Рис. 2.5. Схема разрезки заготовки ствольной трубы при проведении периодических испытаний

Во втором случае производится закалка с отпуском и категория прочности обозначается как КТ300... КТ500...КТ1300.

Примеры механических свойств материалов заготовок некомандных деталей даны в табл. 2.4 и 2.5.

2.4. Примерные механические свойства некомандных деталей без термообработки

Категория прочности	$\sigma_в$, МПа	δ, %		ϕ, %	$a_н$, Дж/см^2	НВ
		Образец плоский	Образец круглый			
		Не менее				
К150	294	22	30	55	–	95...121
К300	490	12	17	40	30	140...197
К400	589	8	12	36	30	167...217

2.5. Примерные механические свойства некомандных деталей, прошедших термообработку

Категория прочности	$\sigma_в$, МПа	δ, %		ϕ, %	$a_н$, Дж/см^2	НВ
		Образец плоский	Образец круглый			
		Не менее				
КТ300	294	12	17	40	40	163...207
КТ500	490	10	13	45	60	201...255
КТ700	687	7	9	45	60	262...311
КТ900	883	5	6	40	40	321...388
КТ1300	1275	4	5	30	30	429...461

Легирующие добавки не только повышают прочностные свойства относительно тонких заготовок, но, как видно из табл. 2.6, существенно влияют на прокаливаемость заготовок с толстыми стенками.

По степени ответственности некомандные детали подразделяются на шесть групп (от 0 до V). Типовые примеры деталей и характеристики групп даны в табл. 2.7.

2.6. Влияние легирующих добавок на прокаливаемость заготовок артиллерийских деталей

Толщина (диаметр) заготовки, мм	Категория прочности стали марки			
	35	50	40Х	38ХН3МФА
	Закалка в воде		Закалка через воду в масло	
30	КТ350	КТ550	КТ800	КТ1300
50	КТ350	КТ500	КТ800	КТ1250
80	КТ300	КТ450	КТ700	КТ1150...1250
120	КТ250	–	КТ550	КТ1000...1050
160	КТ250	–	КТ550	КТ900...950
200	КТ250	–	КТ550	КТ850...900
240	КТ250	–	КТ550	КТ800...850
300	–	–	КТ500	КТ800
350	–	–	КТ400	КТ750

Назначение номера группы, категорий прочности и дополнительных требований к материалу деталей производится конструктором и согласовывается с отделом главного металлурга завода.

Обозначение категорий прочности и групп на чертежах деталей без термообработки и с термообработкой выглядят так:

ГрI – К300 ОСТ 3-1686–80; ГрIV – КТ700 ОСТ 3-1686–80.

2.2. Методы изготовления заготовок ствольных труб

Ствольные трубы калибром 76...203 мм в настоящее время могут изготавливаться в зависимости от программы выпуска и имеющегося на заводе оборудования из заготовок, полученных различными методам: свободной ковкой, центробежным литьем, радиальной ковкой.

Свободная ковка представляет сейчас, пожалуй, только исторический интерес. На всех заводах стараются изготавливать кованые заготовки на *радиально-ковочных машинах* (РКМ).

Кованые заготовки ствольных труб изготавливают из слитков. Для свободной ковки слитки получают разливкой сваренной стали в многогранные изложницы. Для РКМ слитки получают четырехгранными, обычно электрошлаковым переплавом (рис. 2.6).

2.7. Требования к группам некомандных деталей по степени их ответственности

Группа	Приемка деталей	Состояние заготовок*	Условия комплектования партии	Сдаточные испытания	Испытания (число заготовок)		Типовые детали
					На твердость	На механические свойства	
0	Партиями	1…5	Одна марка стали	Качество поверхности заготовки и химический состав	–	–	Вспомогательные: стойки, поручни, кожухи, крышки, подставки, маховики, скобы
I	То же	1…6	То же	То же и твердость	3 % от партии (не менее 5 шт)	–	Неответственные: гайки, втулки, корпуса сальников, шайбы установочные, рычаги, ключи, хомуты, валики, шестерни мелкие
II	То же	2…6	То же. Совместная термообработка (один режим в течение суток)	То же	10 % от партии (не менее 10 шт)	–	Общего назначения: кулачки, муфты, шаровые погоны, ресиверы, сопла, ударники, толкатели, стопоры взвода, штыри, каретки

Продолжение табл. 2.7

Группа	Приемка деталей	Состояние заготовок*	Условия комплектования партии	Сдаточные испытания	Испытания (число заготовок)		Типовые детали
					На твердость	На механические свойства	
III	То же	2, 5, 6	То же	То же и механические свойства	100 % (на механические свойства крайние значения НВ	Прокат (2 шт от партии). Поковки, штамповки (2 шт от 250 заготовок; 4 шт от более 250 заготовок)	Рассчитываемые на прочность: цилиндры, шатуны, рычаги, шестерни, штоки, выбрасыватели, веретена, шворневые лапы
IV	То же	6	Одна плавка. Совместная термообработка (один режим в течение суток)	То же	То же	То же	Ответственные (рассчитываемые на прочность): валы, крупные шестерни, цилиндры, оси для орудий до 85 мм
V	Каждой детали	6	Индивидуально каждая заготовка	То же	Сплошной контроль	Сплошной контроль	Особо ответственные: цапфы, коренные валы, поворотные механизмы, основные оси (кованые для орудий калибра более 85 мм)

* 1 – без термообработки; 2 – нормализация; 3 – отжиг; 4 – высокий отпуск; 5 – нормализация и отпуск; 6 – закалка с отпуском.

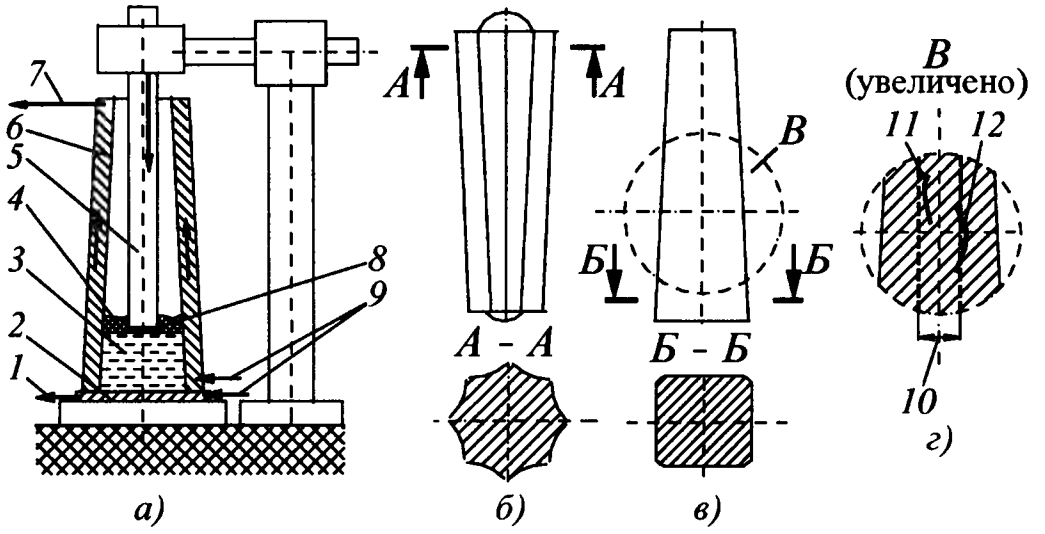


Рис. 2.6. Схемы электрошлакового переплава стали (*а*), слитка после разливки стали в изложницы (*б*), слитка после электрошлакового переплава (*в*), возможных трещин внутри слитка (*г*):

1 – выходная магистраль охлаждения медного поддона; *2* – медный поддон с каналами для охлаждения водой; *3* – расплавленная электродугой сталь; *4* – слой расплавленного шлака; *5* – плавящийся электрод (стальной брус квадратного или прямоугольного сечения); *6* – медная изложница с каналами для охлаждения водой; *7* – сливная магистраль охлаждения изложницы; *8* – электродуга между расплавленной сталью и плавящимся электродом; *9* – магистрали подвода охлаждающей воды; *10* – диаметр будущего в слитке канала; *11* – трещина допустимая; *12* – трещина недопустимая

Как видно из схемы, расплавленный шлак защищает ванну стали от возможного ее загрязнения неметаллическими и воздушными включениями.

При обычной разливке стали, сваренной в мартеновских или электродуговых печах, серьезно стоит вопрос об удалении из стали растворенных в ней газов, особенно водорода. При относительно быстром охлаждении высоколегированной стали водород (при его чрезмерном содержании) выделяется между кристаллами и образует трещины – флокены. Сталь с обнаруженными флокенами на любой стадии изготовления изделий немедленно бракуется, и изделия из нее не производятся.

При обычной плавке и разливке стали в 100 г расплава содержится до 7...8 $см^3$ водорода. Для уменьшения содержания водорода сталь могут подвергать вакуумированию, что позволяет иметь в 100 г расплава только 3...3,5 $см^3$ водорода. Естественно, процесс вакуумирования не дешевый,

но позволяет улучшить качество металла. При получении слитков электрошлаковым переплавом, они подвергаются обязательному ультразвуковому контролю на предмет выявления внутренних трещин в слитке. В случае (см. рис. 2.6), если трещины *11* не выходят за границы будущего канала под ковку, слиток считается годным, при выходе трещин *12* за диаметр канала слиток бракуется.

Слиток после электрошлакового переплава проверяется и на наличие наружных трещин. Их вырубают зубилом до глубины припуска (или менее, как задают ТУ). Трещина считается вырубленной, если стружка от зубила прекращает раздваиваться.

2.2.1. Центробежно-литые заготовки

Центробежно-литые заготовки ствольных труб изготавливаются на специальных машинах. Схема отливки показана на рис. 2.7. (*I* – введение желоба *15* в изложницу *6*; *II* – опрокидывание желоба на 180°; *III* – выведение желоба из изложницы).

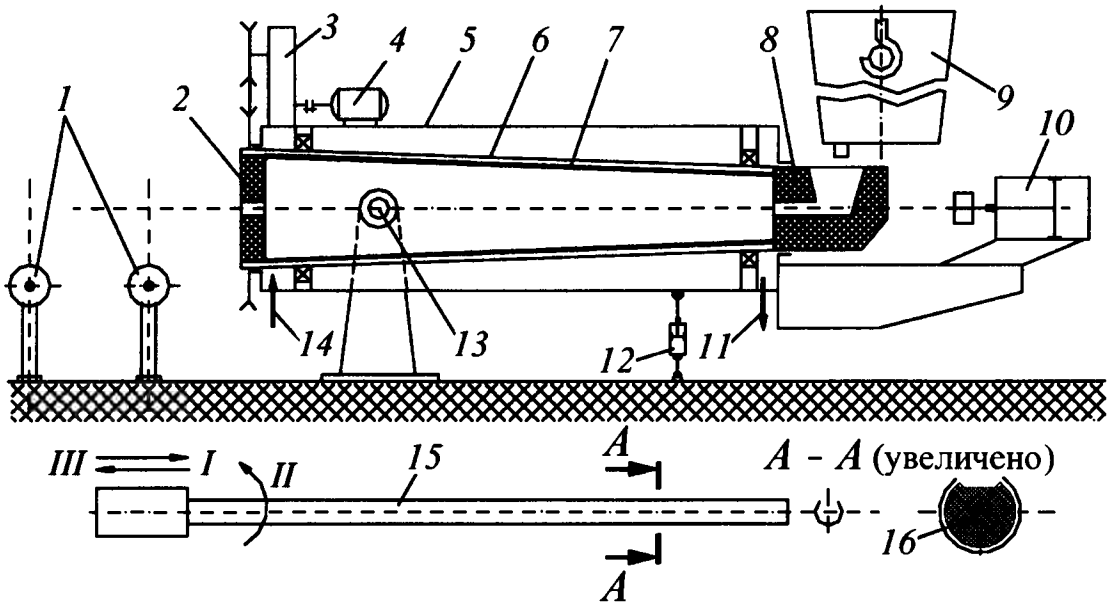


Рис. 2.7. Схема работы машины для центробежной отливки заготовок ствольных труб: *1* – роликовые опоры для размещения отлитой заготовки; *2* – шамотная пробка; *3* – редуктор привода вращения изложницы; *4* – электродвигатель постоянного тока привода редуктора; *5* – кожух машины; *6* – стальная изложница; *7* – слой футеровочного песка; *8* – шамотная заливная воронка; *9* – ковш с расплавленной сталью; *10* – выталкиватель отливки; *11* – магистраль выхода охлаждающей воды; *12* – гидроцилиндр наклона машины; *13* – цапфа; *14* – магистраль подачи в машину охлаждающей воды; *15* – желоб подачи футеровочного песка в изложницу; *16* – футеровочный песок

Отливка заготовки происходит в следующей последовательности.

Изложница *6* находится в кожухе машины *5* на подшипниках качения и приводится во вращение электродвигателем постоянного тока *4* через редуктор *3*. Изложница – стальная труба с внутренним профилем будущей отливки. При начале вращения изложницы в кожух из магистрали *14* подается охлаждающая вода, которая омывает всю изложницу и вытекает из магистрали *11*. Вращение изложницы, благодаря приводному двигателю постоянного тока, начинается с нуля и плавно выходит на рабочие обороты.

После этого через отверстие шамотной пробки *2* вдоль оси изложницы в нее вводится стальной желоб со щелью в верхней части вдоль образующей. Желоб наполнен промытым и просушенным песком из расчета того, что при повороте желоба щелью вниз, песок должен за счет центробежной силы равномерно распределиться по поверхности изложницы, защищая ее от расплавленной стали при заливке.

Заливка стали производится из донного крана ковша (для уменьшения попадания шлака и посторонних включений в отливку) через шамотную воронку *8*. При начале заливки для быстрейшего достижения задней пробки *2* потоком стали машина гидроцилиндром *12* наклоняется на некоторый угол. Заливка ведется до заполнения объема изложницы сталью. При остывании в центре заготовки образуется неправильное отверстие с большим содержанием неметаллических включений (шлака и песка) диаметром порядка 20...60 мм. Для получения отверстия большего диаметра контролируется объем залитого металла или объемом емкостью ковша, или тензовесами на крюке подвески.

При окончании заливки машина приводится в горизонтальное положение и при продолжающемся вращении происходит ее остывание до состояния, когда заготовка может быть транспортирована для дальнейших действий. После прекращения вращения изложницы отливка толкателем *10* выталкивается на роликовые опоры *1*.

Некоторые технические характеристики центробежной отливки:

Температура заливаемого металла, °С	1540...1580
Толщина слоя футеровочного песка, мм	5...6
Частота вращения изложницы (при футеровке, заливке, кристаллизации), об/мин	1200
Угол наклона изложницы, °:	
при заливке	0,5...1
после заливки в течение 5-6 мин	0,5...1
далее (до остановки)	0

Продолжительность заливки металла, мин ..... 3...6
Продолжительность кристаллизации заготовки, мин 20
Температура охлаждающей воды, °С:
перед заливкой 30
после выключения вращения 80
Максимальное время от выдачи заготовки из машины до помещения ее в печь, мин 60

Отливки получаются по форме близкими к формам готовой детали. Причем, первоначальные формы изложниц были просто коническими (рис. 2.8, *а*), а в последствии изложницы стали делать еще более приближенными по форме к готовой детали (рис. 2.8, *б*), что существенно улучшило *коэффициент использования металла* (КИМ).

В табл. 2.8 приведены массы трех видов заготовок для системы одного типа. Преимущества литых заготовок по КИМ по сравнению с кованой очевидны.

2.8. Сравнение кованых и литых ствольных заготовок по расходу металла

Изделие 2А46, калибр 125 мм	Свободная ковка		Центробежная отливка			
	Масса, кг	КИМ, %	Масса, кг (Вариант А)	КИМ, %	Масса, кг (Вариант Б)	КИМ, %
Слиток	5200	66	–		–	
Поковка	3430		–		–	
Отливка	–	52	3550	51	2800	64
Заготовка под термообработку	1800		1800		1800	
Готовая труба	960	53	960	53	960	53
		18,5		27		34

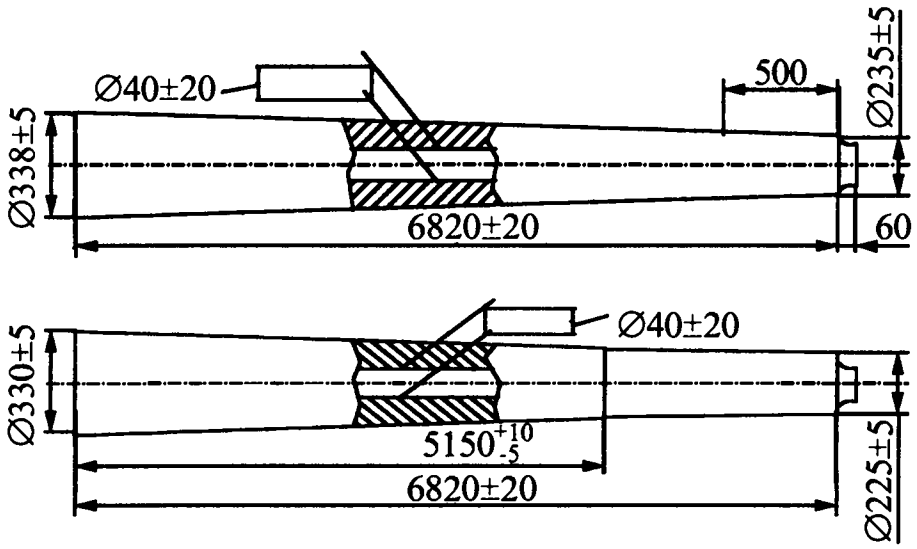


Рис. 2.8. Заготовки ствольных труб после центробежной отливки:
а – в ранее применявшуюся изложницу; *б* – в современную изложницу

Но, несмотря на очевидные преимущества литых заготовок, они не лишены крупных недостатков, которые более или менее уменьшаются в процессе длительной термообработки. Причины здесь следующие.

Во-первых, как уже говорилось ранее, высоколегированные стали подвержены флокенообразованию. Количество водорода в литой заготовке составляет порядка 6...9 $см^3$ на 100 г стали. Поэтому заготовки должны проходить отпуск после извлечения из изложницы в достаточно короткий срок (до часа).

Во-вторых, сама схема центробежной отливки приводит к сепарации химических элементов и неметаллических включений в расплавленной стали и неоднородному их распределению по сечению заготовки: более тяжелые элементы располагаются на периферии, а более легкие – ближе к центру. Это хорошо видно на рис. 2.9.

В результате расположения в центральной части наиболее легких элементов (песка и шлаков) последующая механическая обработка канала крайне затруднена из-за повышенного износа режущего инструмента.

Выравнивание структуры металла по сечению и удаление водорода из заготовки решается длительной термообработкой в нескольких печах и охлаждающих камерах. Диаграмма такой обработки приведена на рис. 2.10. Эта термообработка является предварительной. Окончательная термообработка «на свойства» проводится после предварительной механической обработки.

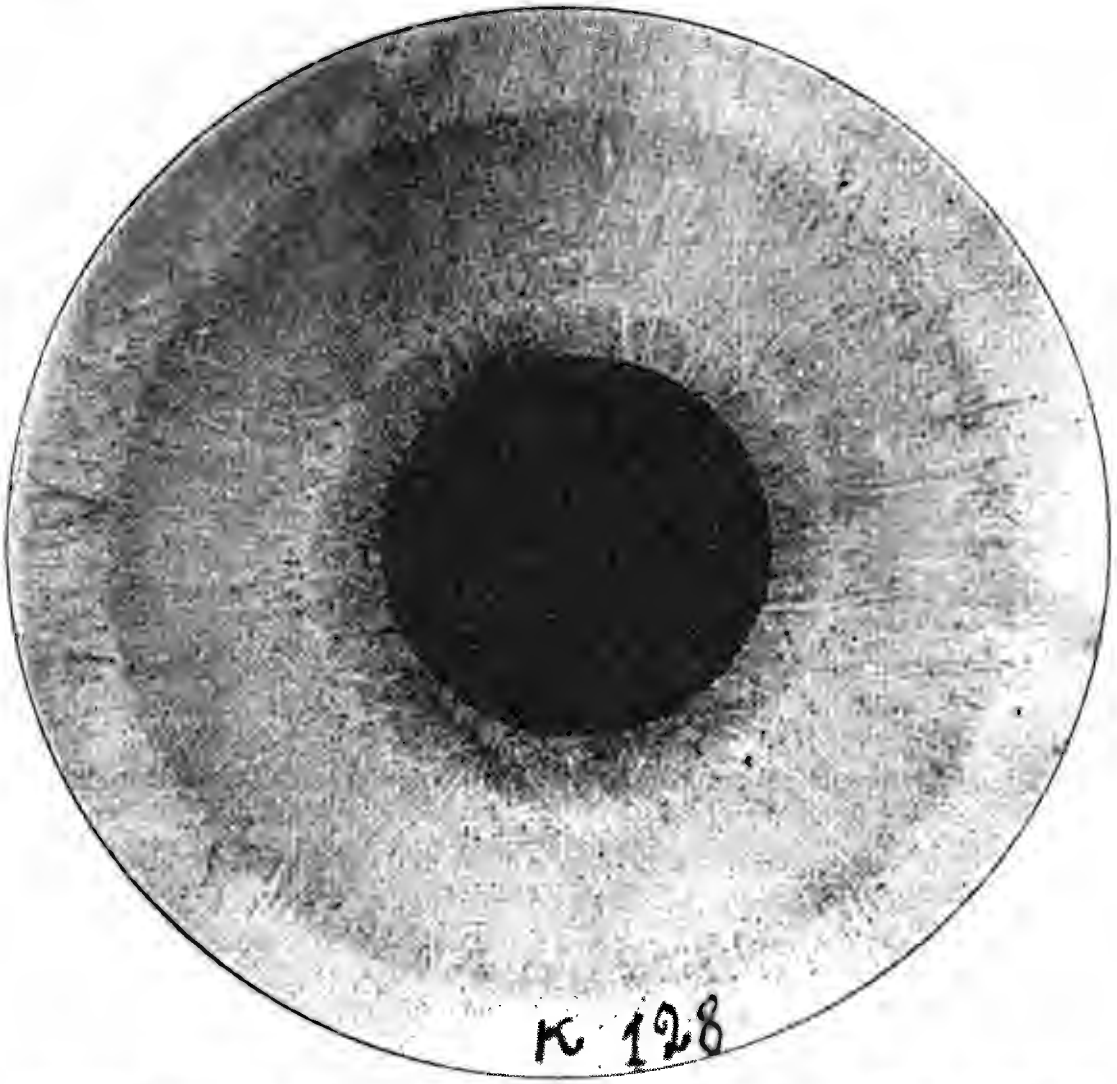


Рис.2.9. Микрошлиф темплета, вырезанного из центробежно-литой заготовки

Таким образом, затраты на энергию, создание и эксплуатацию крупногабаритного оборудования и цеховых площадей для получения качественных заготовок ствольных труб центробежным литьем весьма значительны. В какой-то мере положение облегчается за счет того, что на подины печей укладываются одновременно до 30 отливок. После предварительной термической обработки заготовки проходят правку (между первым и вторым отпусками) и очистку наружной поверхности от остатков песчаной футеровки и окалины. Очистка производится энергичным нагревом наружной поверхности газовыми горелками, которые перемещаются вдоль по образующей отливки при ее вращении. Благодаря этому, наружная корка, расширяясь при нагреве, отслаивается.

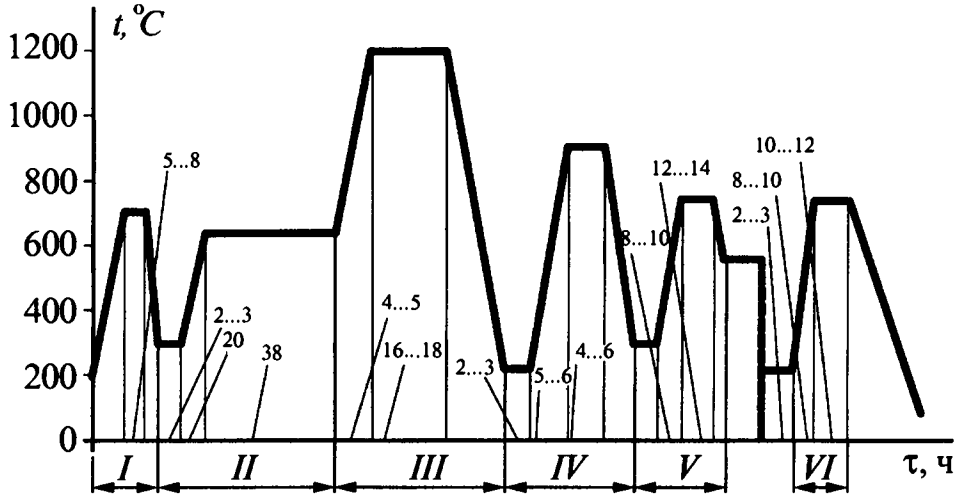


Рис. 2.10. График предварительной термообработки ствольных заготовок после центобежной отливки:
I – накапливание заготовок; *II* – изотермический отжиг; *III* – диффузионный отжиг; *IV* – нормализация; *V* – отпуск 1; *VI* – отпуск 2

2.2.2. Получение заготовок ствольных труб радиальной ковкой

Для современных ствольных труб в связи с повышением требований к условиям эксплуатации (увеличение рабочего давления, уменьшение массы ствола, повышение меткости стрельбы) нужны более точные заготовки с более мелким однородным зерном и благоприятной текстурой. Кроме того, необходимо поднять и производительность при получении заготовок. Всем этим требованиям в достаточной степени удовлетворяет метод радиальной ковки, разработанный австрийской фирмой GFM.

Схема радиально-ковочной машины (РКМ) показана на рис. 2.11.

Метод радиальной ковки (радиального обжатия) заключается в одновременном воздействии на заготовку четырех бойков *4*.

Бойки в поперечном сечении имеют рабочую поверхность в виде цилиндра или призмы. Молоты, к которым крепятся бойки, синхронно сдвигаются к центру или расходятся от него благодаря тому, что все они приводятся в действие кривошипно-шатунными механизмами, которые кинематически связаны между собой набором шестерен, расположенных в ковочном портале *3*.

Требования к равенству амплитуд их движений весьма строги – сотые доли миллиметра. Благодаря этому, дорн *8* и его штанга *7* при работе машины не испытывают изгибных нагрузок.

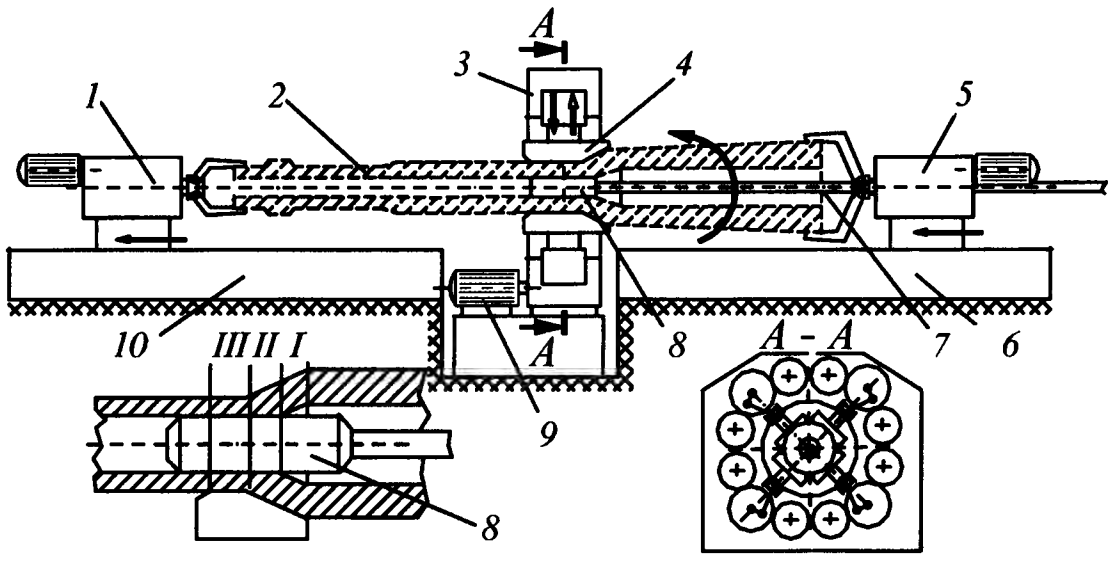


Рис. 2.11. Схема устройства и работы радиально-ковочной машины:
1 – передний манипулятор; *2* – поковка; *3* – ковочный портал; *4* – боек молота; *5* – задний манипулятор; *6* – станина; *7* – штанга дорна; *8* – дорн; *9* – привод молотов; *10* – станина

Конструкция портала такова, что ковочные усилия замыкаются в нем и не передаются на фундамент. Это позволяет относительно спокойно (без вибраций) работать технологическим машинам (станкам), расположенным близко от места ковки.

Ствольные заготовки под калибр свыше 76 мм куются в горячем состоянии, с предварительно изготовленным каналом на оправке – в дорне *8*. Заготовка нагрета до ковочной температуры, поэтому дорн в процессе работы охлаждается проточной водой.

Заготовка в своей откованной части (на схеме – левой) выполнена ступенчатой. Машина позволяет во время ковки одновременно менять величину кривошипа, и это дает возможность ковать не только ступени цилиндрической формы, но и конуса.

При диаметрально попарном изменении радиуса кривошипов на машине можно ковать и заготовки прямоугольного сечения, например, для клиньев затвора.

В момент хода молотов к центру бойки обжимают заготовку по всему периметру. На рис. 2.11 видны три зоны ковки: *I* – обжима (здесь происходит осадка металла), *II* – утонения (металл вынужден течь в направлении подачи заготовки) и *III* – калибровки (поковка принимает свои окончательные размеры и по внешней, и по внутренней поверхностям).

Заготовка при ковке подается под бойки и одновременно проворачивается (если куется заготовка цилиндрической формы) манипуляторами *4* и *5*.

На рис. 2.12 показаны фотографии радиально-ковочных машин.

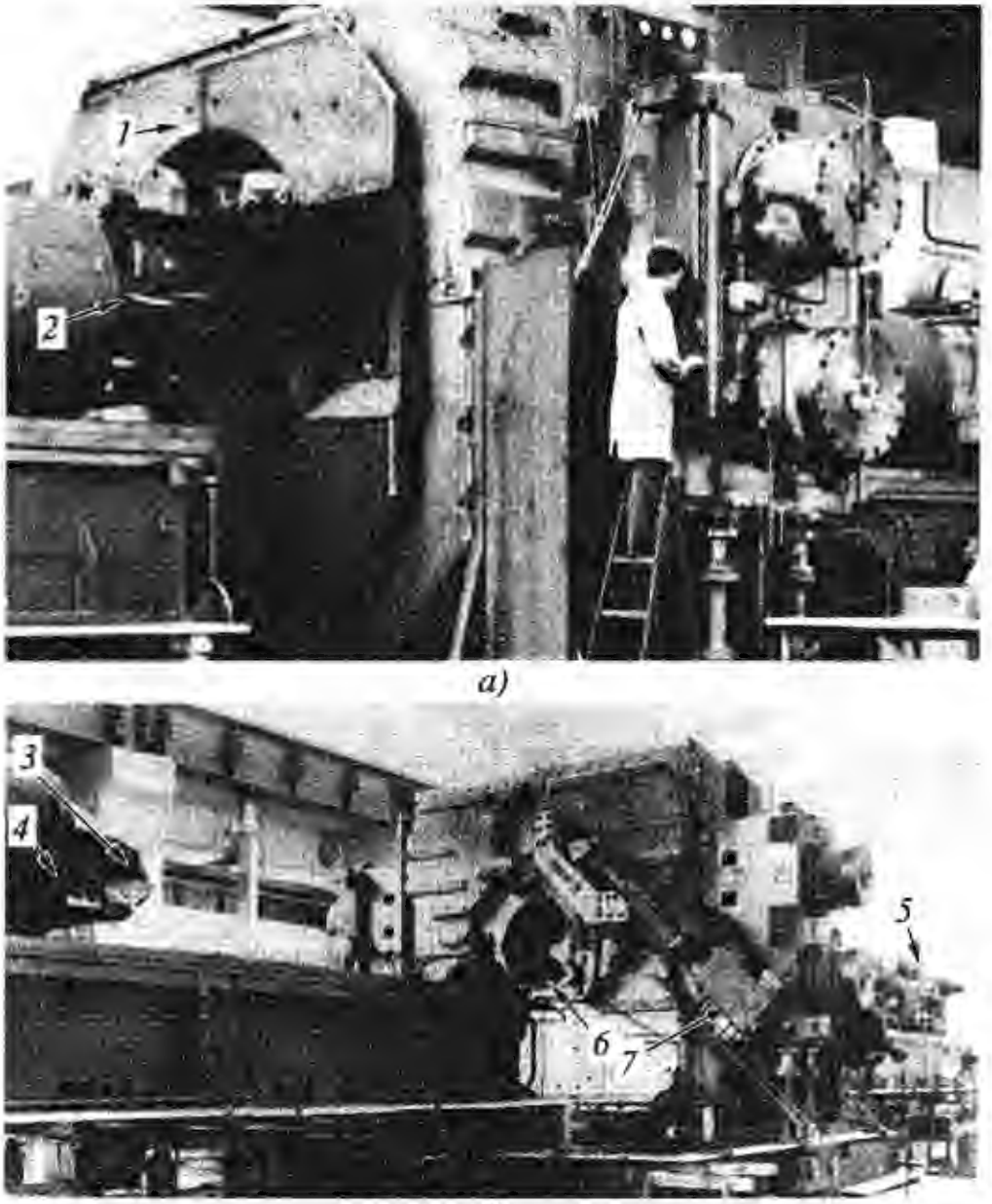


Рис. 2.12. Радиально-ковочная машина: *а* – общий вид портала; *б* – общий вид машины; *1* – ковочный портал; *2*, *3* – схват манипулятора; *4* – задний манипулятор; *5* – передний манипулятор; *6* – ковочные молоты; *7* – загрузочный робот

Технические данные радиально-ковочных машин:

РКМ	SH25	SH40	SH55
Максимальный диаметр обрабатываемой заготовки, мм	250	400	550
Длина поковки, м	1 ... 10	–	–
Максимальное усилие на ковочных молотах, т	350	650	1000
Частота ударов ковочных молотов, уд/мин	450	310	220
Диапазон регулирования положения бойков по радиусу, мм	140	220	300
Скорость перемещения в процессе ковки зажимного манипулятора, м/мин	0...8	0...8	0...8
Длина ковочных бойков, мм	370	450	600
Наибольшая мощность, кВт	480	750	1800
Наибольшая масса, т	170	380	700

Ствольные заготовки средних и крупных калибров куются на РКМ из слитков с внутренним центральным каналом (рис. 2.13).

Слитки перед ковкой нагреваются до температуры 1100...1150 °С. Заготовку куют за один прием (может быть за несколько проходов) в течение 5...10 минут.

Первоначально заготовки ковались без канала, но при освоении РКМ советские технологи в Австрии проковали заготовку-трубу с каналом (рис. 2.14).

После этого эксперимента заготовки с каналами стали ковать повсеместно. Радиальная ковка кроме высокой производительности, автоматизации процесса дает еще возможность получать достаточно малые припуски на механическую обработку под закалку (что видно у типовой поковки на рис. 2.15), а также малые разностенности (до 4-х мм).

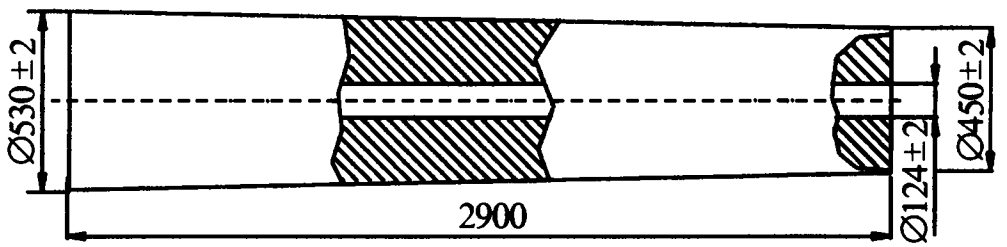


Рис. 2.13. Форма и размеры слитка для ковки на РКМ заготовки ствола 130 мм полевой пушки

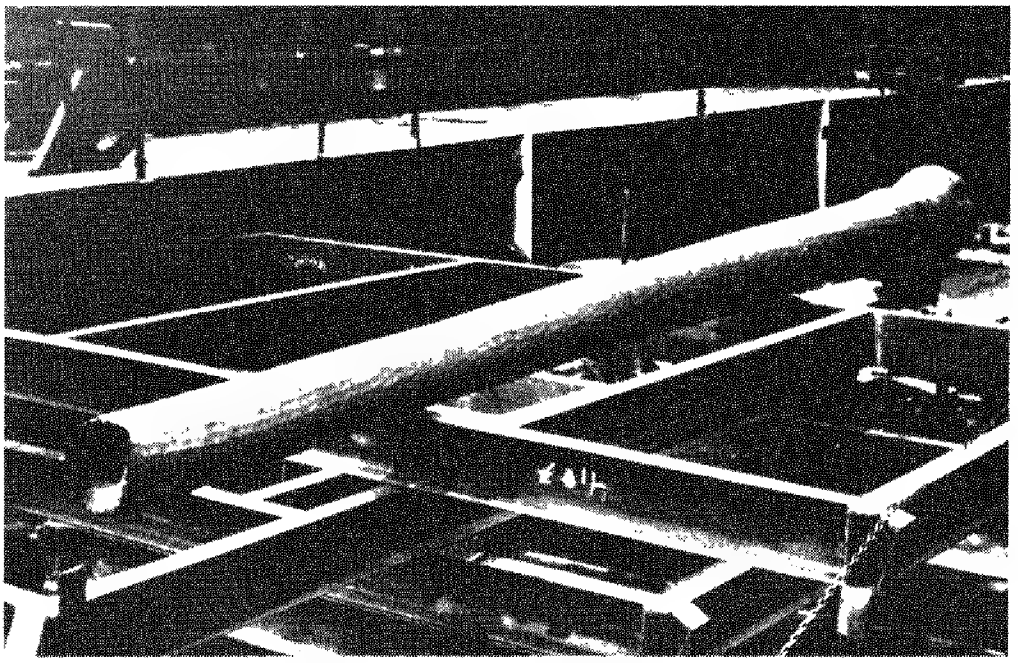


Рис. 2.14. Первая экспериментальная поковка трубы на РКМ с каналом

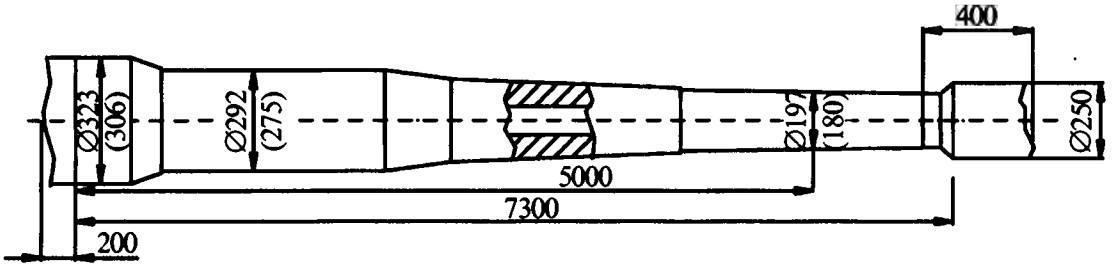


Рис.2.15. Эскиз типовой поковки, полученной на РКМ (в скобках даны чистовые размеры трубы)

Концы поковки получаются неправильными, и их отрезают сразу после ковки при еще высокой температуре на дисковой высокоскоростной пиле. Схема отрезки показана на рис. 2.16.

Конструктивной особенностью такой пилы является то, что отрезка осуществляется пилой в момент планетарного вращения ее оси в общей станине. Такая кинематика проще обычных конструкций с призматическими направляющими.

Зубья пилы выполнены из быстрорежущей стали, и при диаметре диска 3200 мм и скорости резания 100 м/сек время отрезки составляет единицы секунд. Для обеспечения безопасности работы пилы, она заключена в толстостенный кожух из стали.

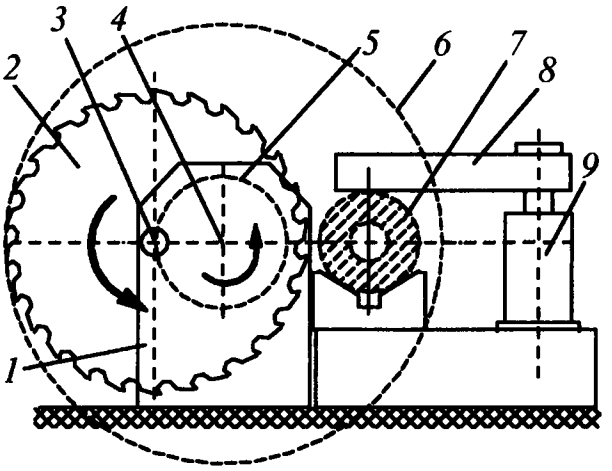


Рис. 2.16. Схема отрезания концов заготовок после радиальной ковки дисковой пилой:
1 – станина пилы; *2* – диск пилы; *3* – ось вращения диска пилы; *4* – ось планетарного вращения пилы в станине; *5* – траектория планетарного вращения оси пилы; *6* – траектория движения режущей части пилы при планетарном вращении; *7* – поковка; *8* – прихват крепления поковки; *9* – привод прихвата

Далее поковку маркируют ударным клеймением с указанием шифра изделия, номера (индекса) детали, номера плавки, номера слитка и порядкового номера детали.

Поковки после отрезания и маркировки укладывают в горизонтальном положении на подину печи (на проложках) в несколько рядов, и они поступают в печь на нормализацию.

Заготовки после радиальной ковки имеют ряд больших преимуществ: высокую производительность, хорошую текстуру, меньшие припуски под полную механическую обработку (порядка 8...10мм) по сравнению с центробежно-литыми, разностенность в пределах 3 мм, стрелу прогиба порядка 2...4 мм.

Крупным недостатком заготовок после радиальной ковки является наличие в канале окалины, которая создает серьезные трудности при дальнейшей расточке канала. Резцы расточных головок энергично изнашиваются в местах, где режущая кромка непосредственно обрабатывает окалину, в то время как вершина резца остается работоспособной.

Как было сказано выше, радиальная ковка заготовок диаметром свыше 30 мм производится в горячем виде.

Весьма прогрессивным направлением представляется освоение ковки больших калибров в холодном состоянии.

Такая ковка существенно уменьшит объем наружной обработки и позволит перековывать изношенные стволы на меньший калибр.

2.3. Термообработка заготовок

Термообработка ствольных заготовок призвана обеспечить служебные свойства труб: и механические и структурные.

Заготовки после полного цикла термической обработки должны

удовлетворять требованиям $\sigma_{пц}$, φ, $a_н$, НВ, а также к пористости, форме зерен, их составу, виду излома, отклонениям от прямолинейности (степени поводки) и минимальному уровню остаточных напряжений. В общем случае, цикл термообработки состоит из нормализации, закалки и двух отпусков: на снятие напряжений и на обеспечение свойств.

В настоящее время практикуется два принципиально отличающиеся (по физике нагрева и по оборудованию) процесса термообработки ствольных заготовок в печах и токами промышленной частоты.

2.3.1. Термообработка с нагревом в печах

Для этого применяются вертикальные (наиболее часто) и горизонтальные печи с газовыми форсунками или электронагревом. Дальнейшие рассуждения будут относиться к вертикальным печам.

Обычно перед печным нагревом заготовки ствольных труб предварительно механически обрабатываются. Их обдирают по наружной поверхности для снятия возможных концентраторов напряжений (огранки, включений окалины, песка). Кроме того, все заготовки для калибров свыше 76 мм перед термообработкой сверлят. Во-первых, для обеспечения необходимой скорости охлаждения при закалке (чтобы охлаждающая среда действовала на заготовку как с наружной, так и с внутренней стороны), т.е. для обеспечения нужной структуры и механических свойств. Во- вторых, для облегчения операции сверления канала в сыром материале заготовок (как у литой заготовки, так и у слитков под радиальную ковку).

При обдирке заготовок в дульной части делается бурт, с помощью которого их подвешивают на приспособлении (так называемой «звездочке»). Обычно звездочки имеют шесть гнезд. Типовая сборка заготовок на звездочке показана на рис. 2.17, *б*, ее называют «садкой».

Чтобы заготовки после сборки садки не выпали из звездочки, ее обвязывают толстой стальной проволокой *2*. Крышка печи сделана из двух раздвигающихся половин *4*, которые при нагреве садки сдвинуты.

Наиболее распространенной термообработкой современных ствольных труб с категориями прочности выше О-100 является закалка «через воду в масло».

Типовой режим такой закалки для реальной трубы приведен на рис. 2.18.

При погружении садки в воду при закалке, детали-заготовки покрываются паровой рубашкой, которая препятствует необходимой скорости закалки. Для удаления этой рубашки применяют так называемые «купания». Пример купаний садки показан на рис. 2.18, *а*. Первое погружение *1* производится на всю высоту заготовки и садка выдерживается примерно 90 с. Затем она выдается на воздух. После этого садка погружается в воду до

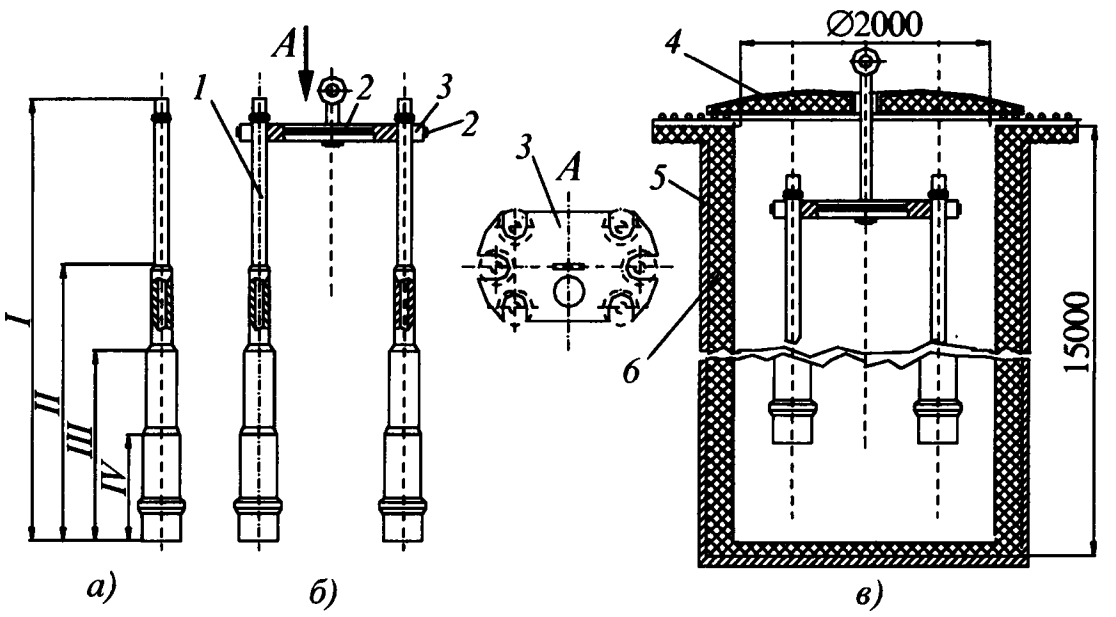


Рис. 2.17. Схемы закалки ствольных заготовок в шахтных печах: *а* – схема расположения на заготовке зон охлаждения; *б* – сборка садки; *в* – расположение садки в печи; *1* – заготовка; *2* – бандаж из стальной проволоки; *3* – звездочка; *4* – крышка печи; *5* – корпус печи; *6* – футеровка

начала утолщения заготовки *II* и выдерживается в баке порядка 60 с. Погружение *III* продолжается 80 с и *IV* – 90 с. После охлаждения в баке с водой садка погружается на 30 мин в бак с маслом.

Следует отметить, что температура заготовок перед закалкой измеряется пирометристом и фиксируется в паспорте заготовки.

Температура воды в баке также при начале закалки замеряется термопарами, она должна быть в пределах 55...75°С. Причем во время закалки вода энергично перемешивается подаваемым снизу сжатым воздухом.

После закалки в масле заготовки проходят два отпуска.

Первый отпуск производится на снятие остаточных напряжений после термообработки, а второй – «на свойства», после которого и получаются необходимые механические характеристики металла заготовки.

Процесс печной термообработки длителен (десятки часов), проводится на уникальном оборудовании. Печи обычно с газовым нагревом и имеют большие размеры: диаметр порядка 2 м и высоту 14...15 м. Внутренние стенки печей выложены огнеупорными кирпичами, и в них вмонтированы фурмы с газовыми горелками. Горелки расположены в печи поясами и форс их пламени направлен тангенциально стенкам. Расположение горелок и направление пламени предусматривает равномерное нагревание заготовок садки со всех сторон.

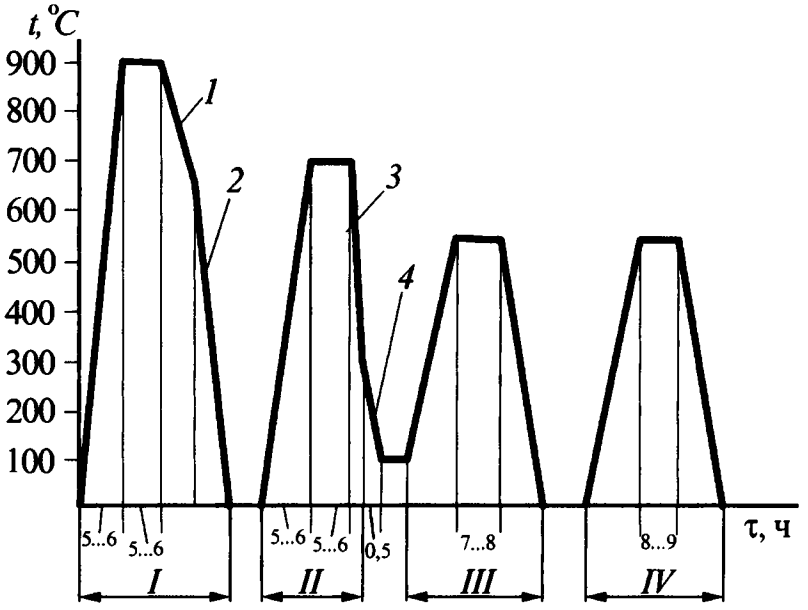


Рис. 2.18. Типовой график термообработки заготовки ствольной трубы: *1* – охлаждение с печью; *2* – охлаждение на воздухе; *3* – охлаждение в воде; *4* – охлаждение в масле; *I* – нормализация; *II* – закалка; *III* – отпуск *1*; *IV* – отпуск *2*

Диаметр закалочных баков порядка трех метров. Правда, их конструкция проще, чем у печей. Они имеют стальной корпус и магистрали подачи и слива жидкостей и подачи сжатого воздуха (для барботации жидкости).

Садки загружаются в печи и баки в вертикальном состоянии, поэтому высота цеха термообработки также велика. Он оснащен мостовыми кранами, защищенными от воздействия высокой температуры и влажности.

Кроме того, при выдаче нагретой примерно до 300 °С заготовки из воды в масло образовывается обильное выделение газов, что плохо отражается на окружающей экологической обстановке.

2.3.2. Термообработка на установках с нагревом токами промышленной частоты

Много лучше и по экологии, и по габаритам закалочной установки термообработку ствольных заготовок вести на установке с нагревом токами промышленной частоты (ТПЧ).

Установка ТПЧ питается током промышленной частоты напряжением 380 вольт. Еще одним необходимым условием для работы установки ТПЧ является наличие обычной воды и сжатого воздуха.

Принципиальное устройство установки ТПЧ приведено на рис. 2.19.

Установка ТПЧ работает по принципу трехфазного асинхронного

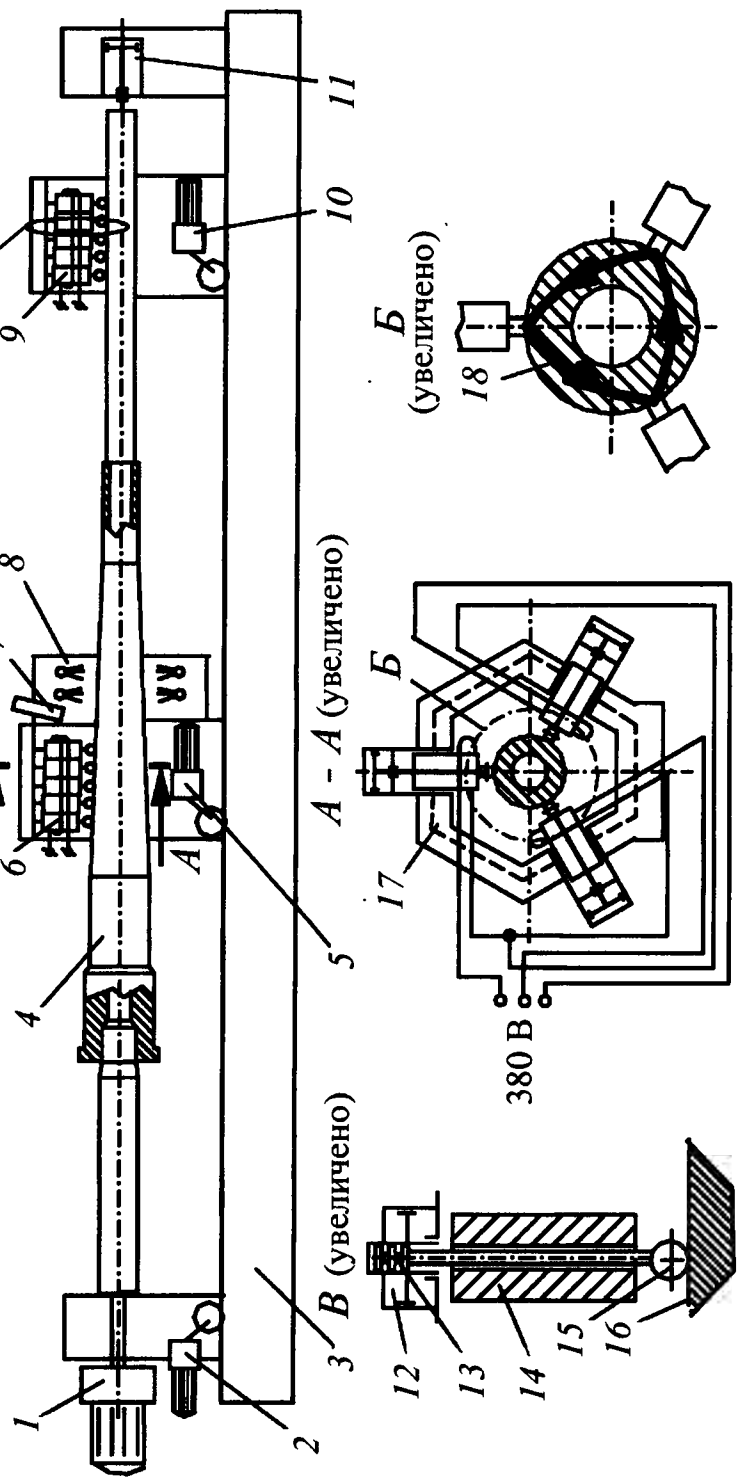


Рис. 2.19. Схема устройства установки для закалки стольных заготовок токами промышленной частоты: *1* – привод вращения передней пиноли; *2* – привод перемещения передней бабки; *3* – станина установки; *4* – ствольная заготовка; *5* – привод перемещения закалочного индуктора; *6* – полюс закалочного индуктора; *7*– оптический пирометр; *8* – спрейерные водяные форсунки; *9* – полюс индуктора отпуска; *10* – привод перемещения задней бабки; *11* – привод осевого поджима задней пиноли; *12* – следящий гидроусилитель; *13* – управляющий золотник следящего гидроусилителя; *14* – подвижный элемент полюса индуктора; *15* – контактный ролик; *16* – поверхность заготовки; *17* – магнитный поток в корпусе индуктора; *18* – магнитный поток в заготовке

электродвигателя с заторможенным ротором. В качестве ротора здесь выступает сама заготовка.

Ее крепят в передней и задней пинолях, когда оба индуктора размещаются на цилиндре задней пиноли. Заготовка передней пинолью проворачивается, но такая малая скорость проворота заготовки делает ее практически неподвижной для питающего тока. На станине установлены два статора-индуктора: закалочный – передний и индуктор отпуска – задний. Они однотипны по устройству электрической части, имеют по три башмака с катушками, соединенными в звезду. Катушки запитаны трехфазным током промышленной частоты (вид **Б** – схема размещения полюсов в индукторе и магнитных полях). Башмаки индуктора для более высокого КПД должны подходить к поверхности заготовки как можно ближе. Но т.к. заготовка имеет вдоль оси разные по диаметру поверхности, башмаки индукторов состоят из секций (вид **В** – схема секции устройства подвижного элемента полюса индуктор-башмак), которые имеют возможность за счет следящих гидроцилиндров выдерживать расстояние от поверхности заготовки, равное диаметру контактного ролика (сделанного из жаропрочной керамики). Диаметр этого ролика 10мм.

Индукторы имеют приводы осевой подачи, основой которых являются электродвигатели постоянного тока с возможностью просто регулировать скорость движения индукторов вдоль заготовки.

Регулирование скорости движения индукторов здесь необходима, т.к. толщина стенок заготовки различна и скорость прогрева стенок при постоянной скорости индукторов будет неодинаковой. При более толстых стенках в казенной части скорость движения индукторов должна замедляться. Для более надежного прогрева заготовки в казенной части, она предварительно растачивается на диаметр больший, чем канал.

Необходимая скорость перемещения индукторов в каждый момент времени может быть задана на основании теоретических расчетов и анализа результатов экспериментальных термообработок. Но этого оказывается недостаточно. Бывает необходимо регулировать скорости движения индукторов в зависимости от фактической температуры заготовки. Это решается применением оптического пирометра, который выдает информацию о температуре заготовки в виде электросигнала. Сигнал усиливается и подается в привод осевой подачи закалочного индуктора.

После достижения необходимой температуры заготовка должна резко охлаждаться. Это достигается подачей воды под давлением в спрейерные форсунки, которые расположены вокруг заготовки. Скорость охлаждения регулируется интенсивностью подачи воды в зоны водяного коллектора с учетом скорости перемещения индуктора. Непосредственно после закалки осуществляется отпуск заготовки вторым индуктором. Отпуск здесь производится один: и на снятие напряжений, и на свойства.

Благодаря тому, что термообработка ТПЧ производится индукторами, оснащенными следящими (относительно поверхности заготовки) статорами, заготовки для ТПЧ обрабатываются существенно строже, чем для печной закалки.

Примерный чертеж заготовки для ТПЧ дан на рис. 2.20.

Общий вид установки ТПЧ в цехе показан на рис. 2.21.

Рис.2.20. Примерный чертеж ствольной заготовки для закалки на установке ТПЧ

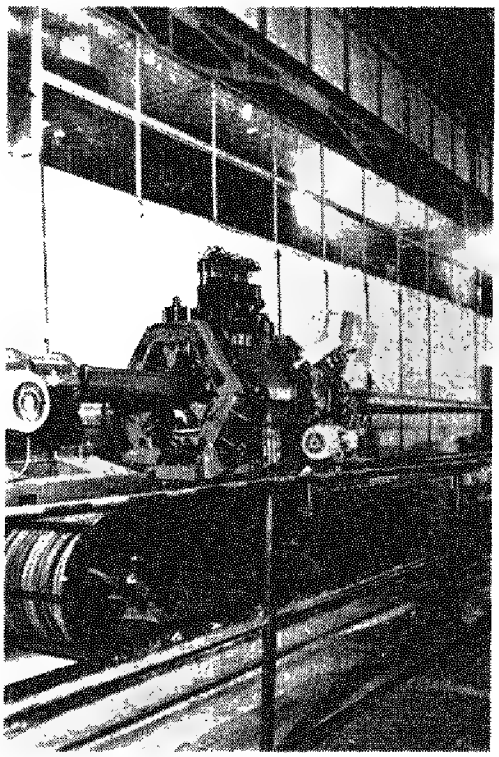


Рис. 2.21. Общий вид установки для закалки ствольных заготовок токами промышленной частоты (ТПЧ)

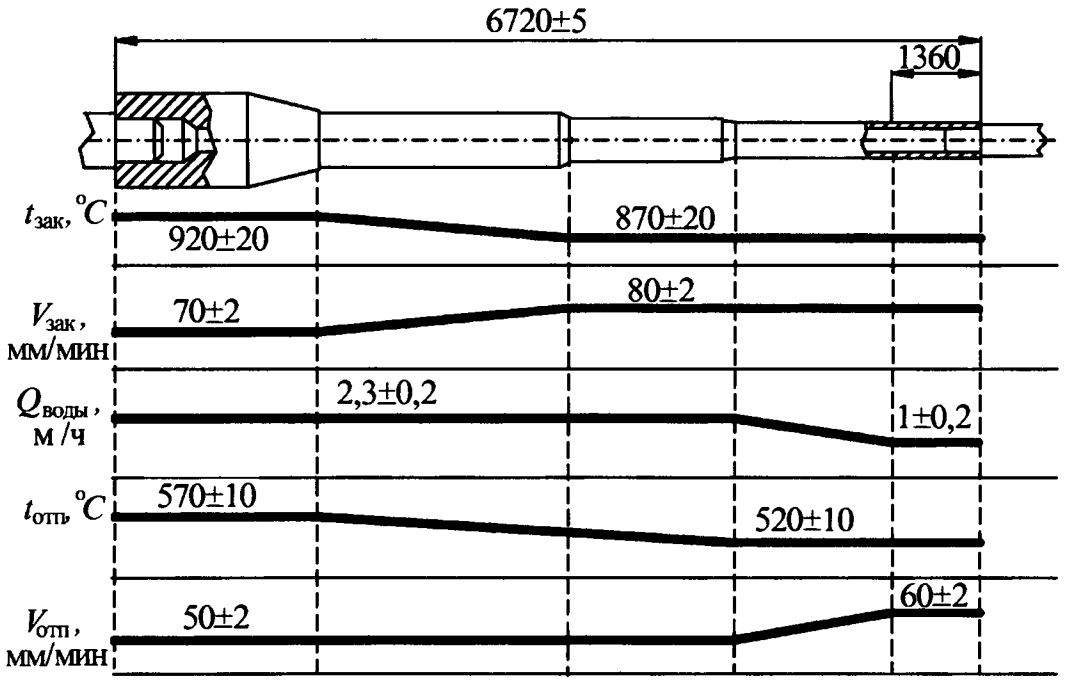


Рис. 2.22. Типовой режим термообработки 125 мм ствольной трубы на установке ТПЧ

Типовой режим термообработки ствольной заготовки дан на рис. 2.22. Общее время термообработки составляет 2,5...3 часа.

Основные характеристики установки ТПЧ:

Скорость перемещения индукторов, мм/мин:	
рабочий ход	50...160
ускоренный ход	2000
Частота вращения передней бабки, об/мин	8...15
Расход воды при закалке, $м^3$/ч	8...18
Давление воды при закалке, МПа	0,4...4,0
Расход воздуха, $м^3$/ч	20
Давление воздуха, МПа	0,4...0,6
Габарит изделия, мм:	
длина	до 9000
диаметр	до 350
Установленная мощность, кВт	550
Питающий ток	переменный
напряжение, В	380
частота, Гц	50
Габарит установки (Д×Ш×В), мм	24130×3440×2900
Масса установки, т	58

Безусловно, такая закалка с экологической точки зрения более благополучна, чем печная (в окружающую среду поступает только водяной пар). Кроме того, установка имеет ряд серьезных преимуществ: высокая производительность, малые стрелы прогиба (порядка 1,5 мм при вращении разогретой заготовки в роликовых люнетах в процессе термообработки), большая часть припуска на механическую обработку снимается до закалки.

2.3.3. Характер напряженного состояния поперечного сечения ствольной трубы при закалке

При закалке труб под действием охлаждающей среды возникают напряжения. Теоретические исследования показывают, что напряжения должны возникать по направлениям трех осей. Но, с точки зрения будущего служебного назначения трубы, наиболее интересны напряжения, действующие вдоль оси трубы.

При возникновении несимметрии таких напряжений в сечениях труба должна изгибаться (искривляться) до такого положения, при котором силы от этой несимметрии уравновесятся. Значительные искривления ствольных труб, конечно, не допускаются, хотя практика показывает, что заготовки труб после термообработки получают искривления.

Одним из механизмов образования остаточных напряжений и их знака в стенках трубы поясняет схема рис. 2.23, *а*.

При погружении нагретой заготовки в охлаждающую среду температура наружных стенок через несколько секунд (момент T_1) будет близка к температуре закалочной среды, а внутренние слои будут иметь еще первоначальную высокую температуру.

Наружные слои при таком резком охлаждении стремятся сократиться, а внутренние препятствуют этому. Отсюда наружные слои испытывают значительные напряжения растяжения *1*.

Через некоторое время (момент T_2) внутренние слои остывают, сокращаясь в объеме. При этом уровень напряжений *2* и внутренних и наружных слоев снижается.

При относительно невысокой температуре сердцевины напряжения *3* на наружных слоях меняют знак, они становятся сжимающими, т.к. наружные слои перешли из пластического состояния в упругое в то время, когда внутренняя часть была нагрета и имела больший объем (момент T_3). При охлаждении сердцевины этот объем уменьшается, тем самым уменьшая и размеры наружных слоев.

Когда температура всей заготовки примет температуру окружающей среды (момент T_4), наружные слои испытывают максимальные напряжения сжатия, а внутренние – растяжения *4*.

По рассмотренной схеме, в поперечном сечении заготовок ствольных труб характер распределения осевых остаточных напряжений для сверленой и сплошной заготовок должен быть таким, как показан на рис. 2.23, *б*.

Площади с растягивающими и сжимающими напряжениями должны быть равны между собой:

$$S_2 = S_1 + S_3.$$

Из-за того, что в каждом сечении реальной трубы оси канала и наружной поверхности не совмещены, канал по отношению к наружной поверхности располагается с некоторым эксцентриситетом. Условия закалки такого сечения и образования и распределения напряжений будут несимметричными. Это одна из причин искривления заготовки трубы. Кроме того, возможными причинами несимметрии остаточных напряжений по сечению могут быть: неравномерное охлаждение заготовок в подвеске-звездочке из-за взаимовлияния заготовок; неметаллические включения в заготовке (песочины, шлаковины).

Для снятия основного объема остаточных напряжений служит первый отпуск. Практика показывает, что остаточные напряжения в основном исчезают при отпуске с температурой выше 600°С. Но при такой температуре отпуска не удается получить категорию прочности выше О-650, а в современных трубах она должна составлять О-1000, О-1200. Следовательно, в заготовках после их полной термообработки должны быть остаточные напряжения. Для заготовок 100-миллиметровой пушки уровень и порядок распределения таких напряжений даны на рис. 2.21, *в*.

Стволы этой пушки были обмерены на искривления после термообработки. В табл. 2.9 приведены результаты этих обмеров.

2.9. Непрямолинейность партии ствольных труб после термообработки

Число труб	Биения поверху, мм			
	< 10	10...20	20...50	> 50
50	4	20	25	1

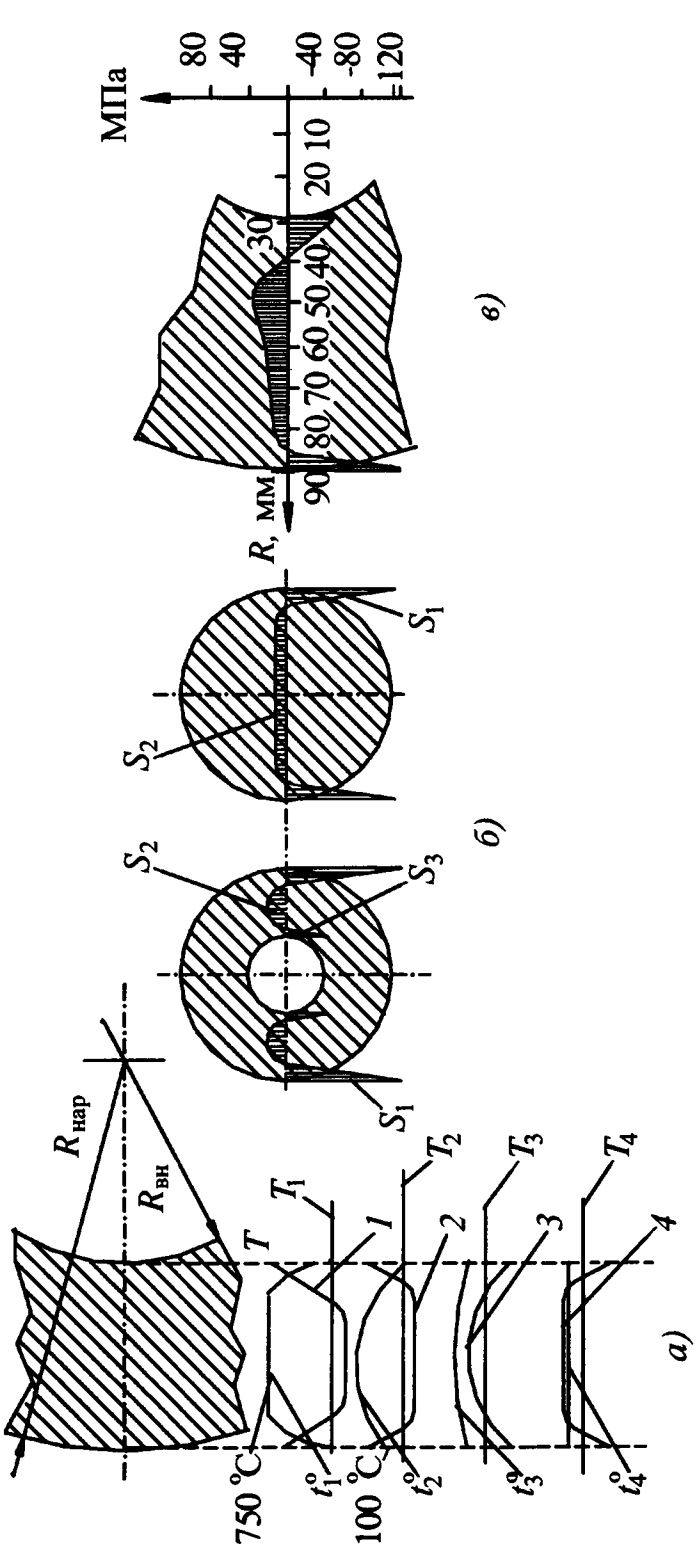


Рис. 2.23. Остаточные напряжения в трубе после закалки:

а – схема образования остаточных напряжений в поперечном сечении трубы при ее закалке; *б* – распределение осевых остаточных напряжений в сверленой и сплошной заготовках при их термообработке; *в* – уровни и порядок распределения осевых остаточных напряжений по сечению трубы

Из табл. 2.9 видно, что искривления заготовок значительные и припусков в 10...15 мм для качественного изготовления ствольных труб в большинстве случаев хватать не будет. Поэтому заготовки должны быть подвергнуты правке.

2.4. Правка заготовок ствольных труб

Правка искривленной заготовки со стрелой прогиба «е» заключается в приложении к этой заготовке силы P (рис. 2.24, *а*), которая на базе L прогибает заготовку на величину $h_{изг}$; этот прогиб включает в себя упругую $h_{упр}$ и пластическую $h_{пл}$ составляющие. После снятия изгибающей силы стрела упругого прогиба восстановится и выправленное изделие займет горизонтальное положение.

При правке в изделии должны появиться дополнительные остаточные напряжения, но не распределенные по всему изделию, а достаточно локальные. Распределение этих напряжений от изгиба подчиняется теореме Генки: остаточные напряжения равны разности между истинными напряжениями $\sigma_{ист}$ в упругопластическом теле и теми напряжениями σ^*, которые создавались бы в нем при предположении об идеальной упругости материала.

Схема распределения остаточных напряжений в соответствии с этой теоремой показана на рис. 2.24, *б*, *в*. Если учесть, что в этом сечении присутствуют остаточные напряжения, полученные от закалки (рис. 2.24, *г*), то суммарное распределение напряжений здесь достаточно сложное.

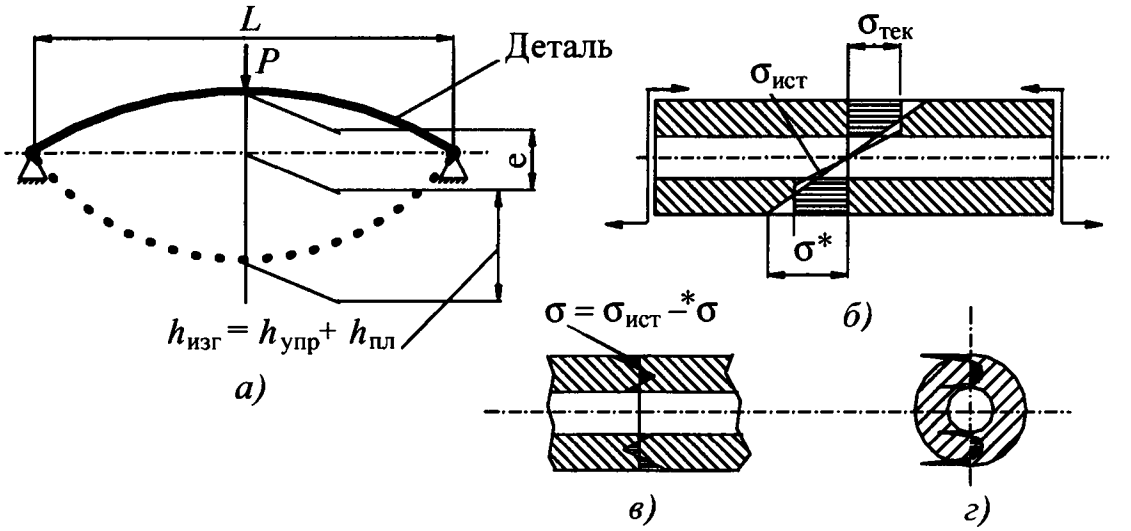


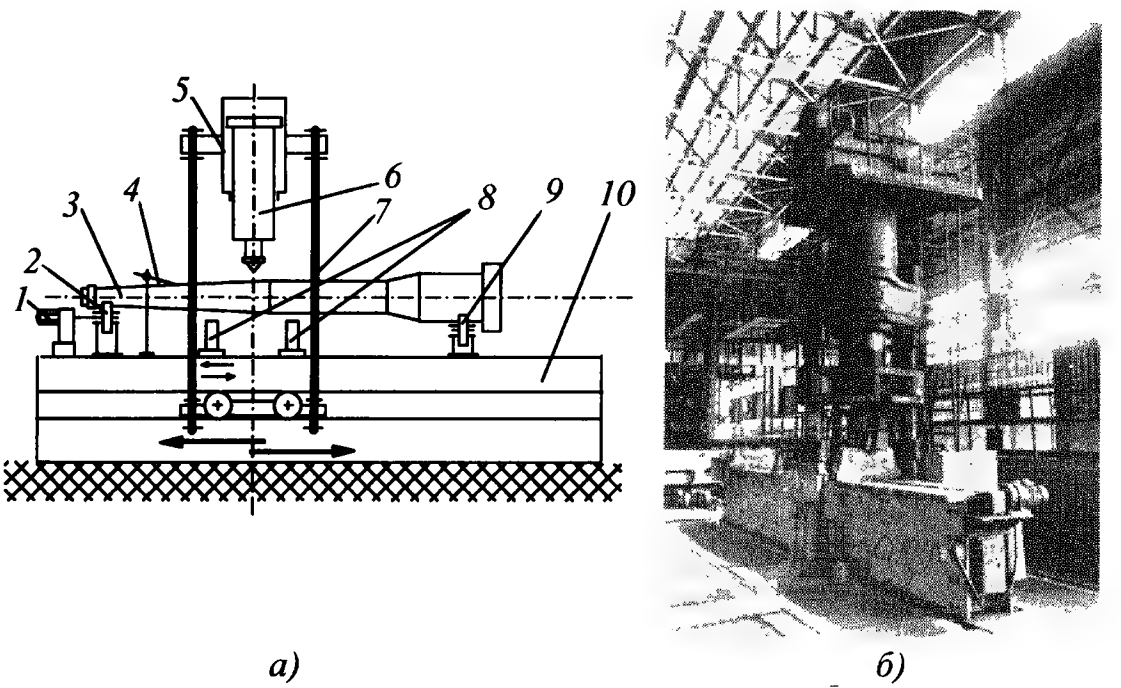
Рис. 2.24. Схема правки трубы:
а – нагружение детали при правке; *б*, *в* – распределение остаточных напряжений от правки; *г* – от закалки

Частичное снятие напряжений правки производится при втором отпуске «на свойства».

Правка подразделяется на холодную и горячую. **Холодная** (температура заготовки < 250°С) осуществляется при малых стрелах прогиба – до 50 мм (соответственно биение до 100 мм). После такой правки биение трубы не должно превышать 4 мм. Время холодной правки 10...15 мин. Она обычно производится не позднее 50 мин после выдачи заготовки из печи.

Горячая правка ведется при температуре 500...550 °С (при биении >100 мм). Регламентируемое время правки 1 ч. Если на такую правку потребовалось больше одного часа, то заготовку снова нагревают до 500...550 °С, выдерживая в печи не менее двух часов.

В зависимости от установившегося на заводе процесса, правка может вестись по отклонению от прямолинейности оси наружной поверхности или оси канала. В первом случае замеряется биение заготовки (рейсмасом при ее вращении) (рис. 2.25, *а*); во втором – проверяется биение канала (специальным прибором).



а) *б)*

Рис. 2.25. Правка ствольных заготовок:

а – схема правки ствольных заготовок на вертикальном гидравлическом прессе; *б* – общий вид пресса для правки ствольных заготовок; *1* – привод призмы для проворота заготовки; *2* – роликовая призма; *3* – ствольная заготовка; *4* – рейсмас; *5* – рабочий цилиндр гидропресса; *6* – шток гидропресса; *7* – колонны; *8* – рабочие призмы; *9* – роликовая призма; *10* – станина

Правка производится чаще всего на вертикальных гидравлических прессах (рис. 2.25, *б*). Заготовку устанавливают на станине на роликовых призмах. Одна из этих призм имеет привод вращения заготовки, что позволяет выявить место и величину прогиба, установить (с необходимой базой) рабочие призмы и переместить всю колонну пресса вдоль оси изделия в нужное место.

Прессы для правки заготовок ствольных труб по рассмотренной схеме имеют усилие на штоке порядка 2000...5000 кН.

Сейчас проводятся работы по ведению правки в автоматизированном режиме.

2.5. Построение маршрута механической обработки ствольных заготовок

Одним из основных тактико-технических требований, предъявляемым к артиллерийским системам, является меткость стрельбы.

Она в значительной степени зависит от геометрии ствольной трубы (из-за отклонения оси канала от прямолинейности и из-за ее разностенности).

Отклонение оси канала от прямолинейности вызывает при движении снаряда значительные динамические нагрузки в стволе от центробежных сил, и значит, отклонение траектории вылета снаряда от расчетно заданной. *Разностенность* (из-за неравномерного нагрева и расширения стенок трубы при стрельбе, особенно высокотемпной) также ведет к искривлению оси канала. Следовательно, одной из главных технологических задач при изготовлении ствольных труб является обеспечение минимальных значений разностенности и отклонения оси канала от прямолинейности. В общем случае желательно сохранение положения оси канала постоянным при изготовлении, эксплуатации и хранении изделий.

Из заготовки, термообработанной и правленной, при дальнейшей механической обработке по наружным поверхностям, каналу, каморе обеспечиваются необходимые геометрические эксплуатационные характеристики трубы.

В табл. 2.10 представлены три маршрута технологических процессов изготовления ствольных труб: *I* – полевой 130 мм пушки, *II* – 122 мм самоходной пушки и *III* – 125 мм танковой гладкоствольной пушки. Из рассмотрения маршрутов технологических процессов изготовления этих труб после термообработки можно сделать следующие выводы:

1. Механическая обработка труб ведется с обязательным чередованием операций изготовления внутренних и наружных поверхностей;

2. Чередование операций растачивания и обтачивания всегда кончается обточкой;

3. Процесс изготовления основных поверхностей труб может начинаться как с растачивания, так и с обтачивания.

Чередование обработок наружной (обтачивание – Об) и внутренней (растачивание – Р) для приведенных в табл. 2.10 процессов соответственно выглядит:

$$I \Rightarrow Р_1 - Об_1 - Р_2 - Об_{2-3};$$
$$II \Rightarrow Об_1 - Об_2 - Р_1 - Об_3 - Р_2 - Об_4;$$
$$III \Rightarrow Об_1 - Р_1 - Об_2 - Об_3 - Р_2 - Об_4.$$

2.10. Примеры организации механической обработки ствольных труб на различных изделиях

Номера основных операций	Труба 130 мм	Труба 122 мм	Труба 125 мм
	Нарезная	Нарезная	Гладкая
	О-800	О-1000	О-1200
	Поковка		Отливка
	Моноблок	Ствол, скрепленный с кожухом	
	I	*II*	*III*
1	Отрезание излишков	Обработка торцов	Отрезание излишков
2	Обтачивание шеек, обдирание	Обдирание	Обтачивание шеек
3	Сверление канала	Отрезание излишков	Обтачивание шеек
4	Контроль непрямолинейности канала	Сверление канала	Сверление канала
5	Обтачивание дульной части	Обтачивание	Обтачивание
6	Термообработка, правка	Термообработка, правка	Контроль размеров
7	Контроль непрямолинейности канала	Обтачивание	Термообработка
8	Отрезание излишков	Обтачивание	Обтачивание шеек
9	Растачивание канала	Растачивание канала	Обтачивание
10	Обтачивание	Обтачивание под скрепление	Растачивание канала

Продолжение табл. 2.10

Номера основных операций	Труба 130 мм	Труба 122 мм	Труба 125 мм
	Нарезная	Нарезная	Гладкая
	О-800	О-1000	О-1200
	Поковка		Отливка
	Моноблок	Ствол, скрепленный с кожухом	
	I	*II*	*III*
11	Контроль непрямолинейности канала	Скрепление	Обтачивание
12	Растачивание канала	Обтачивание	Обтачивание под скрепление
13	Контроль геометрии канала	Растачивание канала	Скрепление
14	Растачивание каморы	Обтачивание шеек эжектора	Обтачивание казенной части
15	Обтачивание казенной части	Растачивание каморы	Обтачивание средней части
16	Обтачивание дульной части	Обтачивание цилиндрических поверхностей	Растачивание канала
17	Обтачивание	Обтачивание конических поверхностей	Обмер канала
18	Обтачивание	Обтачивание дульной части	Обтачивание шейки
19	Контроль разностенности	Замер дульного угла	Хонингование (раскатка)
20	Нарезание	Замер разностенности	Растачивание каморы
21	Хонингование канала	Нарезание	Обтачивание
22		Хонингование канала	Контроль геометрии

Основная причина такого чередования видов обработки связана с тем, что труба после каждой операции получает то или иное отклонение H_i действительной оси канала от прямолинейности. Причем, большие отклонения, как правило, наблюдается после наружных обработок. Это хорошо видно из рис. 2.26.

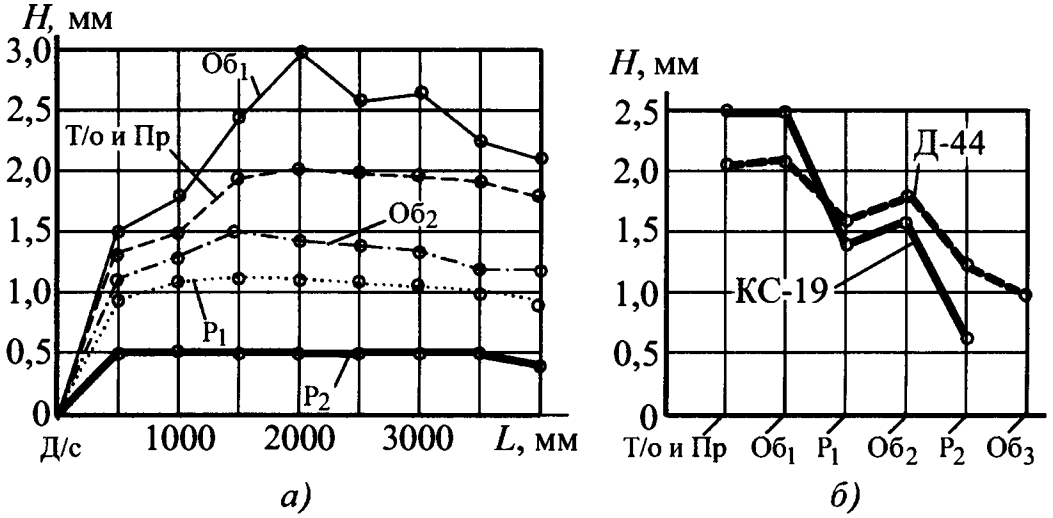


Рис. 2.26. Отклонение от прямолинейности геометрической оси канала ствольной трубы на разных стадиях изготовления: *а* – фактические отклонения по длине канала пушки Д-10Т; *б* – максимальные среднеарифметические отклонения партии труб; Т/о – термообработка; Пр – правка; Р – растачивание; Об – обтачивание; Д/с – дульный срез

При обтачивании, как показывает практика, H увеличивается. Это можно объяснить перераспределением остаточных напряжений в сечениях заготовки трубы при той или иной обработке (обтачивании или растачивании).

Ранее разбирался (см. рис. 2.23) механизм возникновения остаточных напряжений в сечении заготовки трубы после термообработки. Реальная заготовка всегда будет иметь в любом сечении несовпадение центров канала и наружной поверхности, т.е. определенную разностенность, и поэтому несимметричное распределение осевых остаточных напряжений (рис. 2.27, *а*).

При механической обработке заготовки возможны два варианта построения технологического процесса: обработка с базировкой заготовки по наружной поверхности или обработка с базировкой по внутренней поверхности.

В первом случае центр вращения заготовки совпадает с центром O_1 наружной поверхности и производится растачивание канала (рис. 2.27, *б*). Во втором – центр вращения совпадает с центром канала O_2 и заготовка обрабатывается по наружной поверхности (рис. 2.27, *г*). Эти предельные схемы показывают, что и в том, и другом случаях нарушается равновесное состояние остаточных напряжений в сечении. Следовательно, заготовка для восстановления утраченного равновесия обязана деформироваться. Величина деформирования прямо зависит от срезанной площади сечения и от уровня напряжений в этой срезанной площади.

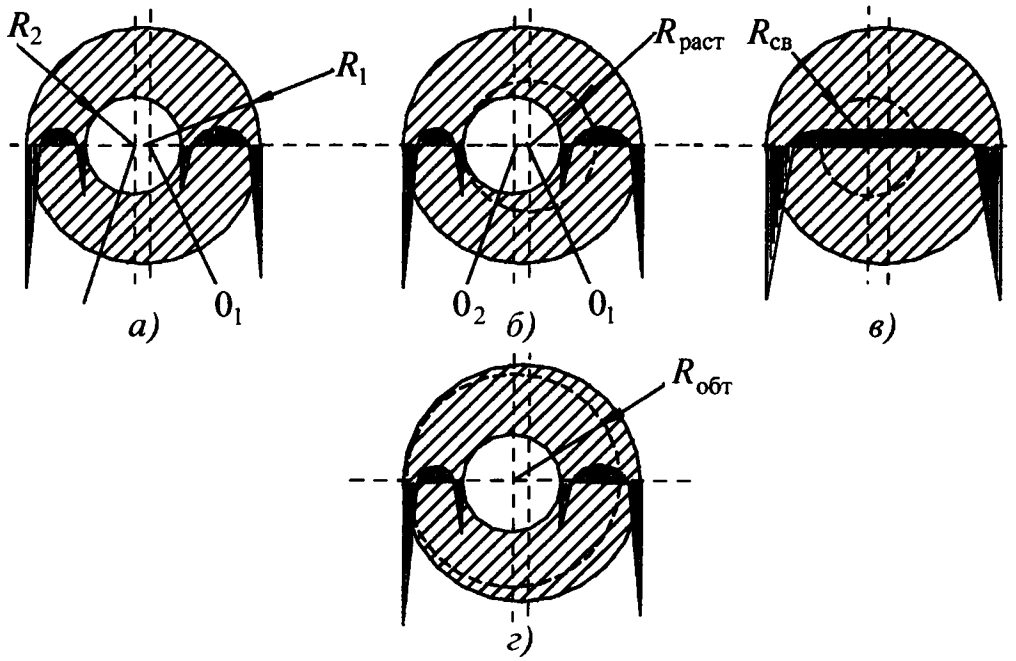


Рис. 2.27. Распределение остаточных напряжений в сечении ствольной трубы: *а* – общий случай распределения напряжений при реальном взаимном расположении наружной поверхности и поверхности канала; *б*, *г* – варианты обработки трубной заготовки при базировании на наружную и внутреннюю поверхность (соответственно); *в* – распределение остаточных напряжений после термообработки заготовки без предварительно просверленного канала

Так как и площадь, и уровни напряжений при наружной обработке больше, чем при внутренней, то и большую деформацию заготовки следует ждать после наружной обработки.

Безусловно, что показанные схемы (см. рис. 2.27, *б*, *в*) только принципиальные. Фактический процесс обработки труб снаружи и по каналу строится не из одноразового прохода инструмента с большой глубиной снимаемого слоя. Поэтому чередуются операции Об – Р или Р – Об с целью обеспечения минимальной разностенности трубы и минимального отклонения оси канала от прямолинейности за счет относительно малой толщины срезаемого слоя при каждом проходе, следовательно, и малыми деформирующими силами.

Учитывая большее влияние обработки наружной поверхности на геометрию оси, целесообразно строить процесс изготовления ствольных труб для уменьшения H также с чередованием наружных и внутренних обработок, но чтобы цикл этих чередований заканчивался растачиванием: $Р_1 – Об_1 – Об_2 – Р_2$ или $Об_1 – Р_1 – Об_2 – Р_2$.

Однако, промышленность сейчас не готова к реализации таких схем, потому что обработку канала необходимо вести при окончательных размерах наружной поверхности трубы. В связи с тем, что обработка внутренних поверхностей всегда выполняется с бóльшими трудностями, чем наружных (сложнее наблюдать ход процесса обработки внутри изделия и управлять им), есть значительная вероятность не обеспечить для растачивания глубоких каналов требуемое положение канала относительно наружной поверхности из-за несовершенства процесса и оснастки. Это приведет к неисправимому браку сложной и дорогой детали.

Отсюда объяснимо желание производственников последней операцией чередования сделать обтачивание. В таком случае после обработки канала базирование детали производится на канал, а припуск на последнюю наружную обработку включает в себя возможную погрешность растачивания канала (чаще всего увод).

Реализация схем $Р_1 - Об_1 - Об_2 - Р_2$ или $Об_1 - Р_1 - Об_2 - Р_2$ станет возможной при создании надежно действующих высокоточных устройств, когда в предварительном канале трубы, полностью сделанной по наружной поверхности, задается ее геометрическая ось (например, лучом лазера) и за этим лучом непрерывно следит центр вращения расточного резца. Такие схемы получили название «управляемое растачивание» и будут подробно обсуждаться в разделе, посвященном растачиванию глубоких каналов.

Особо следует остановиться на построении технологического процесса изготовления ствольных труб калибром 45...57 мм.

Диаметры заготовок таких труб позволяют получить необходимые категории прочности без центрального канала.

Распределение остаточных напряжений в сплошной заготовке с точки зрения искривления ими оси заготовки здесь благоприятное, симметричное (рис, 2.27, *в*).

Последующее сверление канала будет более трудоемким, чем в сырой заготовке, но зато гораздо меньше влияние (при изготовлении канала) на распределение напряжений в сечении. А это позволит обеспечить и прямолинейность канала.

В настоящее время из-за несовершенства технологических процессов в реальных изделиях присутствуют погрешности в виде непрямолинейности оси канала и разностенности (рис. 2.28).

Поэтому постоянно ведутся работы по совершенствованию технологии изготовления труб и повышению требований к реальным величинам непрямолинейности оси канала и разностенности ствольных труб.

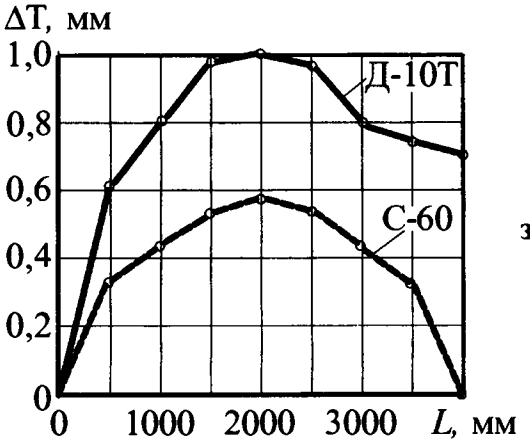


Рис.2.28. Среднеарифметические значения разностенности ΔТ в партиях готовых труб 100 мм танковой пушки Д-10Т и 57 мм зенитной пушки С-60

2.6. Сверление

2.6.1. Схемы сверления каналов в заготовках ствольных труб диаметром свыше 50 мм

В настоящее время принято считать отверстие глубоким, если отношение его длины к диаметру более 5 ($L/d > 5$).

Ствольные трубы, кожуха, лейнеры имеют гораздо большие глубины каналов. В табл. 2.11 представлены глубины реальных стволов, поступавших на операцию сверления.

2.11. Отношение глубины канала к его калибру

Изделие	$d_{отв}$, мм	$L_{заг}$, мм	$L_{заг}/ d_{отв}$
ЗИС-2	54	3975	73,6
С-60	54	4135	76,5
ЗИС-3	65	3450	53
ЗИФ-72 (труба)	55	4420	80,3
ЗИФ-67	63	5110	81
ЗИФ-72 (оболочка)	78,5	4150	53
2А-17	100	6410	64
М-46	105	7680	73

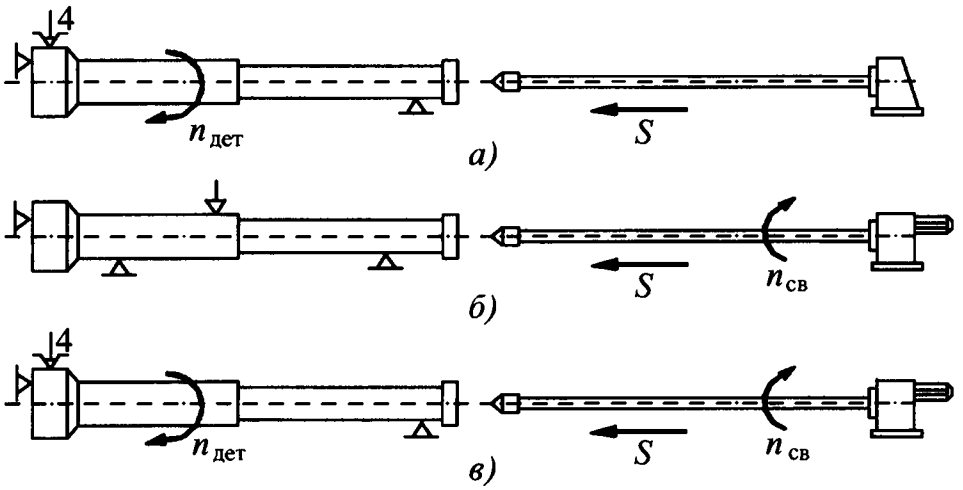


Рис. 2.29. Возможные кинематические схемы сверления глубоких отверстий в ствольных заготовках:

а – вращение детали, подача инструмента; *б* – вращение инструмента, подача инструмента; *в* – вращение детали и инструмента, подача инструмента

Вследствие значительных длин ствольных заготовок средних и крупных калибров сверление каналов представляет собой одну из сложных и трудоемких операций всего технологического процесса изготовления стволов.

Сверление артиллерийских труб ведется на горизонтально-сверлильных станках по схемам, показанным на рис. 2.29.

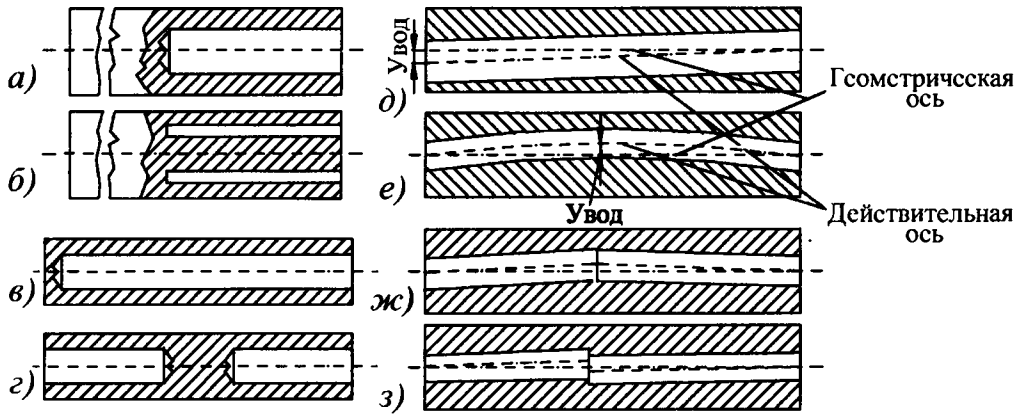


Рис. 2.30. Схемы сверления глубоких отверстий и возможные погрешности полученных каналов:

а – сплошное сверление; *б* – кольцевое сверление; *в* – одностороннее сверление; *г* – двухстороннее сверление; *д*, *е* – возможные погрешности каналов при одностороннем сверлении (уводы); *ж*, *з* – возможные погрешности каналов при двухстороннем сверлении (уступы)

Схема *а* сейчас широко применяется при изготовлении стволов автоматических пушек и стрелковых систем. Эта схема сверления достаточно подробно рассмотрена в главе 1.

Схема *б* может быть рекомендована для сверления заготовок с большими несбалансированными массами, далеко выступающими кронштейнами, что затрудняет вращение детали с необходимыми числами оборотов.

Схема *в* наиболее рациональна для сверления заготовок стволов средних и крупных калибров, так как применение сверл с твердосплавной режущей частью (что сейчас и есть на самом деле) требует высоких скоростей резания, а значит, и высоких чисел оборотов. Задание же больших чисел оборотов заготовкам значительных габаритов и масс нежелательно из-за высоких нагрузок на подшипники шпиндельных бабок и люнетов (все-таки некоторые дисбалансы такие заготовки имеют, так как они обработаны по наружи предварительно). Вращение сбалансированной борштанги с инструментом в сторону, противоположную вращению заготовки для получения необходимой скорости резания, много проще.

Практически, все заготовки стволов средних калибров сверлятся по схеме сплошного одностороннего сверления (рис. 2.30, *а*, *в*).

Двухсторонним (чаще всего кольцевым) сверлением изготавливаются каналы ствольных заготовок больших калибров (более 200 мм) с длиной канала более 7...8 метров на станках одностороннего сверления с переворотом заготовки. Станков, способных сверлить длинномерные заготовки одновременно с двух торцов, на наших заводах нет.

В случае двухстороннего сверления таких заготовок борштанги будут короткими, более жесткими, следовательно, более производительными. Но при двухстороннем сверлении на существующих станках требуется значительное время на переустановку и выверку заготовки. Недостатком двустороннего сверления будут обязательные уступы в канале (рис. 2.30, *ж*, *з*), которые могут быть удалены последующим растачиванием. Причем, припуски на растачивание должны обязательно быть больше высоты уступов.

В табл. 2.12 приведены допустимые уводы реальных заготовок, взятые из технологических процессов изготовления ствольных труб.

Из таблицы видно, что уводы допускаются в довольно жестких пределах.

Отклонения от прямолинейности, а также и увод оси канала после сверления, в большинстве случаев контролируются.

Величины допустимых отклонений от прямолинейности показаны в табл. 2.13.

2.12. Уводы канала при сверлении заготовок ствольных труб

Изделие	Допустимый увод оси отверстия	
	на полную глубину сверления, мм	на каждый метр длины канала, мм/м
С-60	2	0,48
ЗИФ-72 (труба)	2	0,45
ЗИС-3	4	1,15
ЗИФ-67	2,5	0,49
ЗИФ-72 (кожух)	2	0,48
2А-20	5	0,75
2А-17	3	0,47
М-46	6	0,78

2.13. Допустимые непрямолинейности ствольных труб

Изделие	Допустимая непрямолинейность после сверления, мм
С-60	1
ЗИС-3	2,0
ЗИФ-72	1,2
2А-20	2,0
М-46	2,0

Если учитывать большие глубины отверстий стволов этих систем, такие допустимые отклонения от прямолинейности достаточно малы.

Точность и шероховатость поверхности получаемого после сверления канала по требованиям существующих технологических процессов, как видно из табл. 2.14, невысоки.

2.14. Точности и шероховатости каналов ствольных труб после сверления

Изделие	$d_{отв}$, мм	Квалитет точности канала после сверления	Rz канала после сверления, мкм
ЗИС-2	$54^{+0,3}$	H16	–
С-60	$54^{+0,3}$	H16	80
ЗИФ-72 (труба)	$55^{\pm0,25}$	–	80
ЗИС-3	$65^{+1,0}$	H15	80
ЗИФ-67	$63^{+1,0}$	H15	80
ЗИФ-72 (кожух)	$78,5^{\pm0,25}$	–	80
2А-20	$96^{\pm1,0}$	H15, H16	320
2А-17	$100^{\pm1,0}$	H15, H16	80
М-46	$105^{\pm2,0}$	H16	320

Теоретическому анализу точности изготовления глубоких отверстий посвящен ряд работ: [2, 5, 6].

В этих работах при рассмотрении общепринятой расчетной схемы (рис. 2.31), получено уравнение оси обрабатываемого отверстия в зависимости от действующих на сверло и борштангу сил резания, массы штанги, реакций опор и заделки.

Обозначения, принятые в схеме:

R_y – радиальная равнодействующая сил резания;

R_x – осевая равнодействующая, приложенная к инструменту;

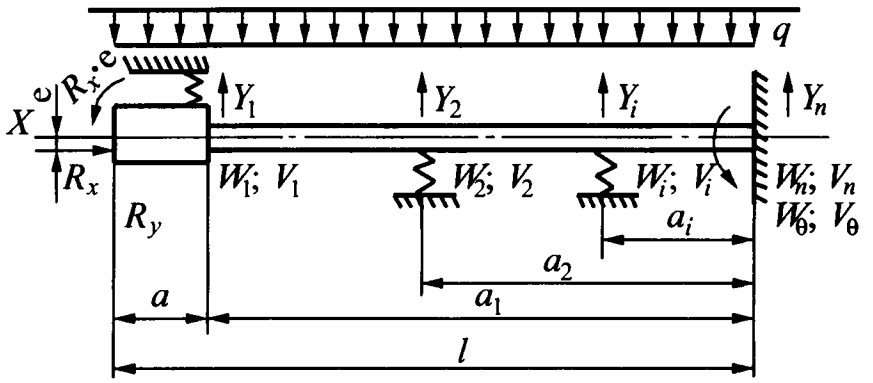


Рис. 2.31. Расчетная схема нагружения сверла и борштанги при глубоком сверлении

e – расстояние от точки приложения силы R_x до оси *x-xi*;

$R_x \cdot e$ – изгибающий момент;

Y_i – неизвестный силовой фактор на *i*-ой опоре;

i =0 – вершина инструмента;

i =1 – точка контакта поверхности боковой направляющей с поверхностью отверстия;

$i = 2$ – точка контакта борштанги с опорой маслоприемника;

$i = n$ – точка заделки борштанги в стеблевой бабке;

W_i – податливость инструмента или борштанги в соответствующей точке;

$2 < i < (n - 1)$ – точки люнетных опор борштанги;

V_i – смещение соответствующей точки контакта;

q – распределенная масса инструмента и борштанги;

δ_x – безразмерные коэффициенты податливости при соответствующих силовых факторах (на рис. 2.31 не указаны).

Уравнение упругой линии борштанги после интегрирования имеет вид:

$$Y_{(x)} = \sum_{i=1}^{n-1} Y_i \frac{l_i^3}{EJ}\delta_{(x)} - R_x \frac{el^2}{EJ}\delta_{x(x)} + R_y \frac{l^3}{EJ}\delta_{y(x)} - q\frac{l^4}{EJ}\delta_{q(x)} + Q_n \cdot x + V_n.$$

Анализ этого уравнения позволил авторам сделать ряд выводов, представляющих интерес для практики:

1 – обработка с невращающимся инструментом дает повышенный увод, т.к. исключается влияние массы стебля и погрешностей расположения его люнетов;

2 – на точность отверстия значительно влияет функция копирования. Исходные погрешности могут увеличиваться в несколько десятков раз;

3 – чем больше расстояние от заделки борштанги до торца детали, тем выше точность получаемого отверстия. Следовательно, начальный вылет борштанги должен быть максимально возможным;

4 – исходные погрешности: точность изготовления инструмента, точность изготовления кондукторной втулки или обработка заходного участка канала влияют на последующее положение инструмента;

5 – при схеме с вращающимся инструментом диаметральная погрешность отверстия меньше, а смещение оси отверстия больше, чем при работе по схеме с вращающейся деталью.

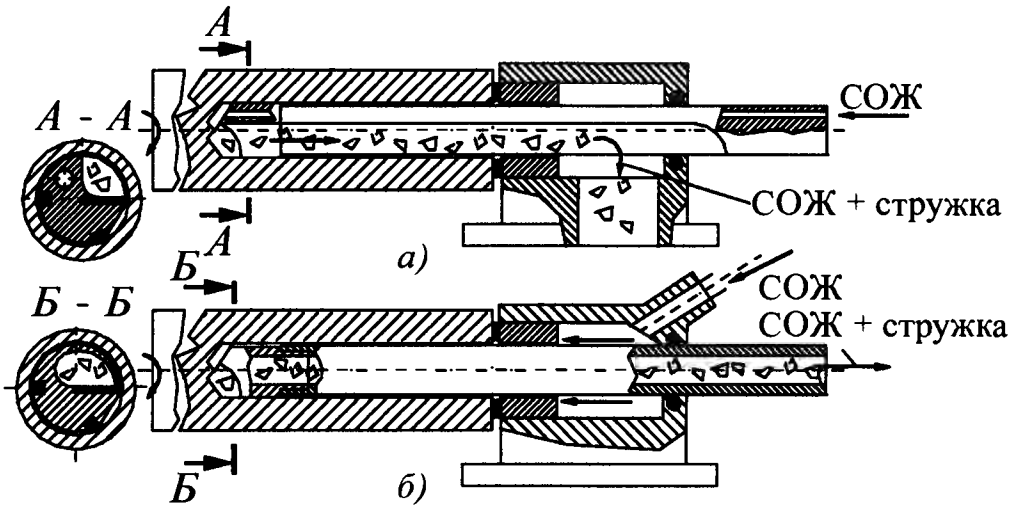


Рис. 2.32. Схемы сплошного сверления глубоких отверстий инструментом с определенным базированием: *а* – с наружным отводом стружки; *б* – с внутренним отводом стружки

В главе 1 были разобраны схемы сверления глубоких каналов инструментами с определенным базированием с наружным и внутренним отводом стружки и их преимущества и недостатки.

Вследствие того, что глава 2 посвящена изготовлению стволов более крупных калибров, сверление инструментом с наружным отводом стружки (рис. 2.32, *а*) в этом разделе не рассматривается.

Поэтому, все примеры работы сверл и их конструкции будут приводиться для инструментов с внутренним отводом.

Базирование крупных ствольных заготовок может производиться в зависимости от наличия того или иного типа станков по вертлюжной и токарной схемам (рис. 2.33).

Для базирования ствольных заготовок раньше применялась схема изображенная на рис. 2.33, *а*. Большинство станков на производствах выполнены по этой схеме. Некоторые преимущества этой схемы: несколько меньшая занимаемая площадь в цехе – шпиндельная бабка расположена в середине станка (станок становится короче на ее размер) и повышенная надежность закрепления заготовки на станке. Эти достоинства не компенсируют очень крупный недостаток такой схемы – весьма напряженную работу шпиндельных подшипников. Они имеют большой диаметр и быстро выходят из строя на высоких оборотах шпинделя, необходимых для инструмента, оснащенного твердосплавными пластинами.

Перед сверлением заготовки проходят предварительную наружную обточку с небольшими требованиями по точности и шероховатости: h14–h15, Rz = 320...80 мкм, за исключением шеек под люнеты и торца под уплотнение маслоприемника (Rz = 40 мкм).

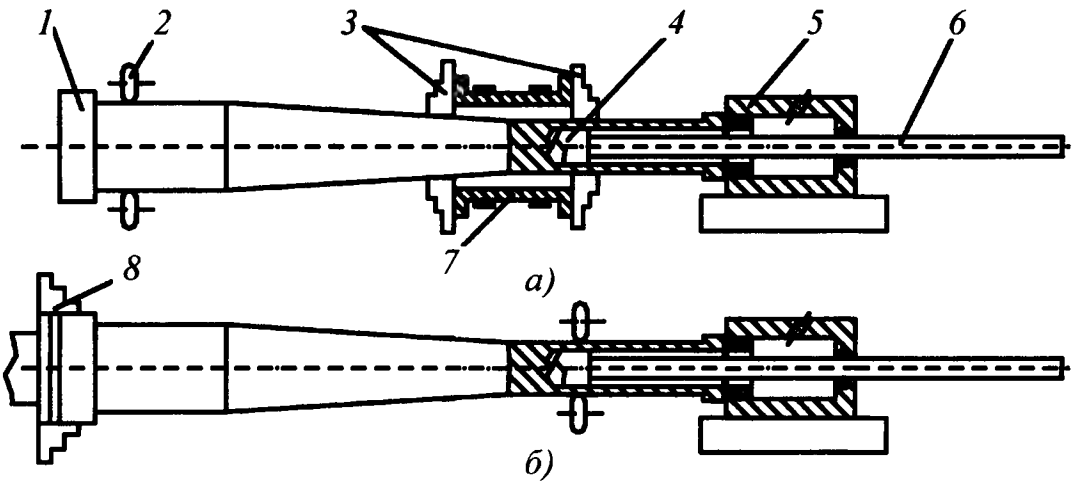


Рис. 2.33. Базирование ствольных заготовок по вертлюжной (*а*) и токарной (*б*) схемам: *1* – заготовка; *2* – люнет; *3* – зажимные планшайбы вертлюга; *4* – сверло; *5* – маслоприемник; *6* – борштанга; *7* – вертлюг; *8* – зажимная планшайба шпинделя токарного типа

Перед сверлением заготовка на станке при закреплении выверяется на биение наружной поверхности. Биение по люнетным шейкам допускается до 0,5...1,0 мм, а по остальной поверхности до 3...6 мм.

При длинных заготовках их могут поддерживать несколько люнетов.

Как правило, заготовки сверлятся с дульного торца.

Производительность и качество сверления глубоких каналов во многом зависит от конструкции сверла.

Сплошное сверление всегда проводится инструментами с определенным базированием (или, как их иногда называют, неуравновешенными) и внутренним отводом стружки. Отвод стружки происходит потоком *смазывающе-охлаждающей жидкости* (СОЖ), которая под давлением поступает из маслоприемника по уже просверленному каналу к режущим кромкам сверла и увлекает образовавшуюся стружку в горловину сверла, далее в борштангу, а из нее в стружкосборник. Подробнее о СОЖ и ее подаче в маслоприемник будет сказано позднее.

На рис. 2.34 дана схема сил, действующих на такое сверло при работе.

Для обеспечения определенности базирования при работе сверла необходимо, чтобы результирующая сила в плоскости *Y–Z* проходила между направляющими и обеспечивала их абсолютный контакт с обработанной поверхностью канала. В этом случае сверло будет самонаправляться вдоль оси отверстия (и направляющие в канале будут работать как подшипники скольжения), обеспечивая минимальные уводы, которые будут происходить только под влиянием изгибающих моментов с плечами h_1, и h_2, но они в значительной степени будут нейтрализоваться направляющими H_1, H_2.

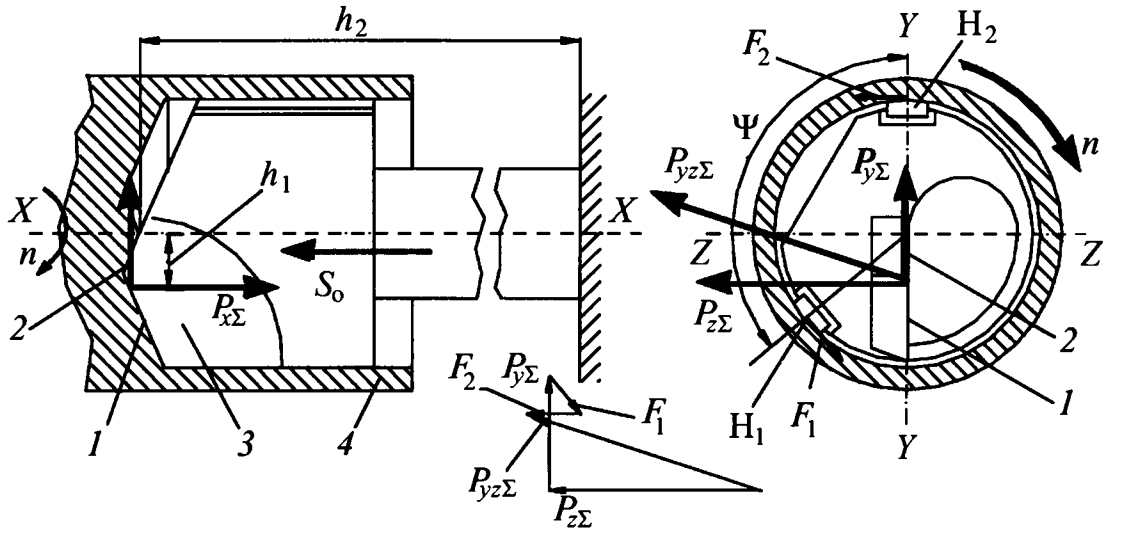


Рис. 2.34. Схема сил, действующих на сверло определенного базирования при работе: *1* – режущая кромка 1; *2* – режущая кромка 2; *3* – режущая пластина; *4* – обрабатываемая деталь; H_1,H_2 – направляющие сверла; h_1, h_2 – плечи сил, действующих на рабочую часть сверла; P_y, P_z, P_x, $P_{yz\Sigma}$, – силы на кромках сверла от процесса резания; F_1 и F_2 – силы трения на направляющих сверла

Силы трения F_1 и F_2 на направляющих будут приводить к их износу. Причем, направляющая H_1 бывает нагружена сильнее, чем H_2, потому что режущая кромка 1 всегда больше кромки 2 (у сверл, выполненных конструктивно по приведенной схеме), и поэтому она изнашивается интенсивнее. При эксплуатации на ней даже появляются цвета побежалости и опорная поверхность покрывается сеткой трещин, которые приводят к выкрашиванию ее. Это вызывает ухудшение шероховатости стенок канала.

Износ поверхности направляющих неравномерен, он больше у рабочего торца сверла. Это говорит о том, что моменты от сил на сверле в сочетаниями с плечами h_1 и h_2 все же влияют на положение направляющих в канале, а следовательно, и на его точность.

Опорные площади направляющих рассчитываются по допустимому удельному давлению, величина которого принимается равной 50 МПа (5 кг/см^2) [2]. Ребра направляющих снабжаются фасками или скруглениями, которые не позволяют направляющим врезаться в поверхность канала и при вращении нагнетают СОЖ под свою опорную поверхность.

При расположении вершины сверла ближе к периферии может произойти изменение направления силы $P_{yz\Sigma}$ на противоположное, и тогда сверло будет стремиться уйти от контакта направляющих с поверхностью канала, потеряется определенность базирования и благодаря тому, что периферийная кромка сверла острая, сверло будет врезаться в канал, разбивая его диаметр и увеличивая увод.

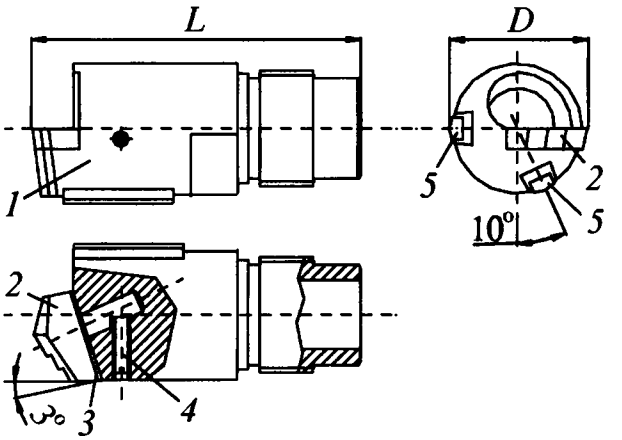


Рис. 2.35. Эскиз однорезцового сверла с определенным базированием для изготовления глубоких каналов:
1 – корпус сверла; *2* – резец; *3* – регулирующая пластина; *4* – стопорный винт; *5* – направляющие

На рис. 2.35 приведен эскиз однорезцового сверла, выполненного по схеме (см. рис. 2.34).

Это сверло применяется для получения отверстий диаметрами 30...60 мм. В корпусе *1* профрезерованы гнезда для двух призматических направляющих *5*, оснащенных для большей износостойкости вставками из твердого сплава (обычно ВК8), и гнездо для установки резца *2*. Резец также имеет припаянную пластину твердого сплава. Хвостовик резца базируется в отверстии корпуса и стопорится винтом *4*. При необходимости установки уголка резца на штатный размер под него ставится шлифованная пластина *3*, и за счет наклона гнезда под хвостовик уголок резца выставляется на рабочий диаметр.

Достоинством такого сверла является возможность простой замены изношенных направляющих при сохранении достаточно дорогого корпуса.

Очень важной и сложной проблемой при сверлении глубоких каналов является проблема надежного удаления стружки из зоны резания в стружкосборник. Если стружка будет образовываться широкой (в ширину резца) лентой, она мгновенно образует в горловине сверла пробку. Это однозначно приводит к поломке инструмента в канале и выходу заготовки в брак.

Для надежного удаления стружки ее ленту делят по ширине на несколько лент и по длине – на отдельные, удобные для удаления элементы. Схема деления стружки по ширине и длине дана на рис. 2.36.

Деление по ширине решается заточкой на режущей кромке сверла ступеней b_1, b_2, b_3. Количество этих ступеней дает число лент стружки. Необходимым условием образования лент является то, чтобы глубина уступа должна быть больше подачи сверла на оборот S_o, что следует из схемы *а*.

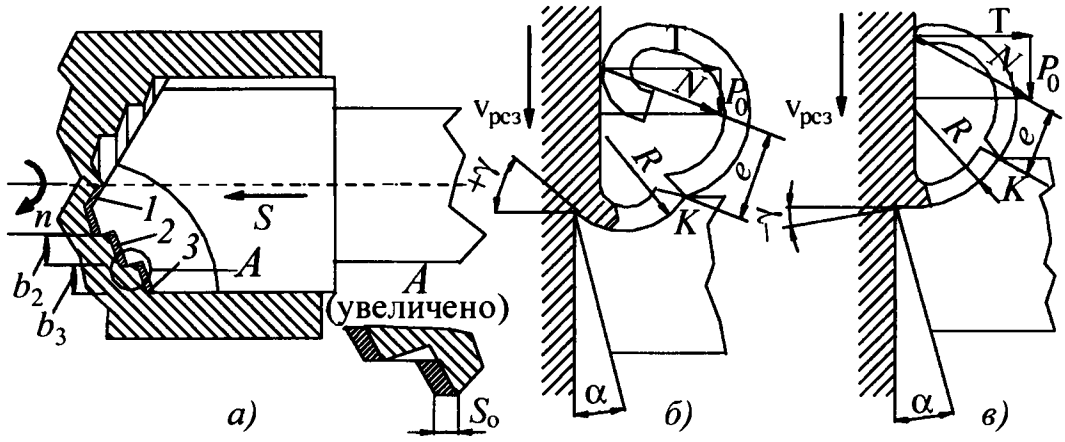


Рис. 2.36. Схемы деления стружки:
а – по ширине; *б* и *в* – по длине

Деление стружки по длине (см. рис. 2.36, *б* и *в*) происходит благодаря тому, что на передней поверхности резца делается лунка (см. рис. 2.36, *б*), обеспечивающая за счет положительного переднего угла $+\gamma$ завивание стружки. Завиток стружки при сверлении своим концом упирается в дно канала. Процесс сверления продолжается, и на стружку действует сила N, которая на уступе благодаря плечу h ломает ленту стружки на отдельные элементы.

На схеме (см. рис. 2.36, *в*) вместо лунки на резце затачивается порожек с отрицательным передним углом. Надлом стружки происходит по той же причине, что и в случае *б*, только такая режущая кромка будет более прочной. Но за счет отрицательного переднего угла $(-\gamma)$ силы резания будут больше. Следовательно, возрастет нагрузка на всю систему СПИЗ (Станок, Приспособление, Инструмент, Заготовка).

Для улучшения условий работы сверла (выравнивания и даже уменьшения нагрузки на направляющие сверла), режущую кромку однорезцового сверла разделяют на несколько независимых резцов и располагают их так, чтобы суммарная сила в плоскости Y–Z была меньше, чем у однорезцового с обязательным сохранением определенного базирования (т.е. чтобы ее вектор проходил между жесткими направляющими сверла).

Схема сил на таком сверле с двумя разнесенными резцами дана на рис. 2.37.

Из показанного силового многоугольника такого сверла видно, что суммарная сила $P_{YZ\Sigma}$ даже при прикидочном построении силового многоугольника позволяет сказать: при такой конструкции сверла нагрузка на направляющие будет существенно меньше по сравнению со сверлом однорезцовым.

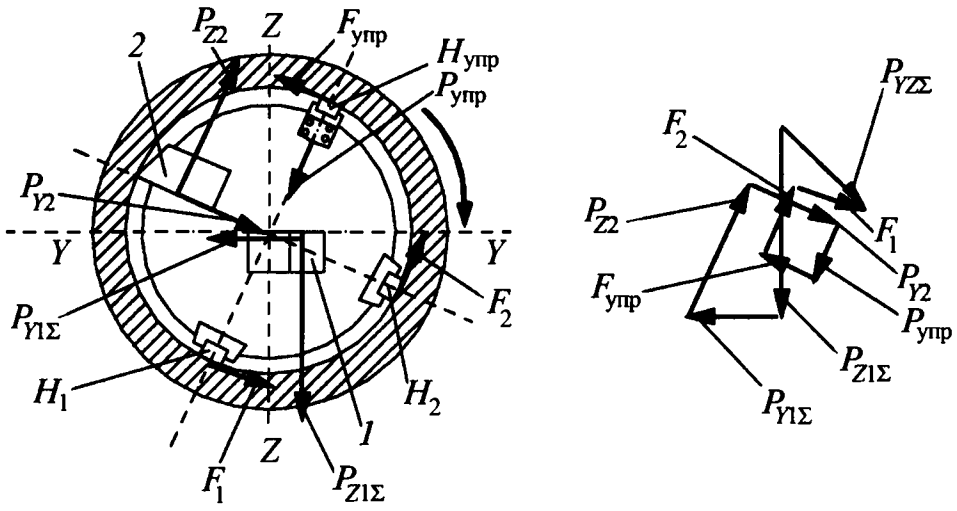


Рис. 2.37. Схема действия сил на двухрезцовом сверле:
1 – первый резец; *2* – второй резец; H_1 и H_2 – жесткие направляющие; $H_{упр}$ – упругая направляющая

Еще одной особенностью сверл с разнесенными резцами является наличие упругой направляющей $H_{упр}$, которая в момент захода сверла в заготовку создает в кондукторной втулке условие определенного базирования инструмента.

Упругость этой направляющей создают или жесткие пружины сжатия или прокладка из маслостойкой резины (рис. 2.38).

Жесткость пружин или резины равна 150...200 Н/мм. В нерабочем состоянии упругая направляющая выступает из корпуса на 0,4...0,6 мм.

Принцип закрепления резцов в корпусе и их вывод на размер такой же, как у однокромочного сверла.

Рис. 2.38 дает представление о конструкции сверла в части расположения в корпусе направляющих жестких и упругой, расположения резцов, деления стружки по ширине на две ленты. Такие сверла применяются для изготовления отверстий свыше 60 мм. Для изготовления каналов свыше 100 мм сверла на таком же принципе делаются с тремя резцами.

Многорезцовые сверла обладают некоторыми преимуществами:

– уменьшается нагрузка на направляющие за счет разнесения резцов с единой линии режущей кромки;

– разнесение резцов позволяет делить стружку по ширине без дополнительных уступов;

– возникает возможность оснастить резцы таких сверл твердым сплавом с учетом его оптимальной работы в определенном диапазоне скоростей резания. На единой резцовой пластине скорость резания изменяется от максимальной на периферии до нулевой на оси сверла.

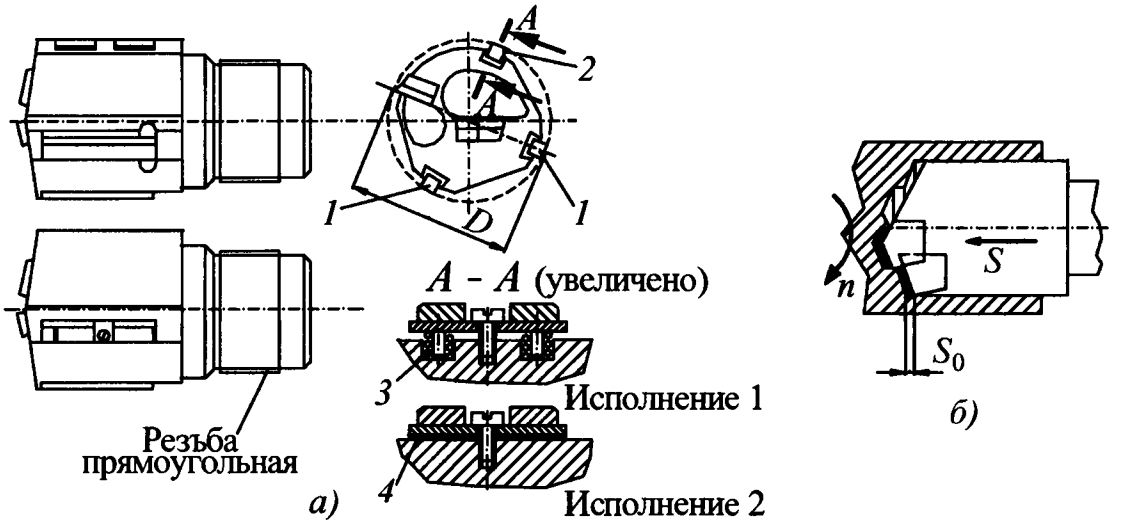


Рис. 2.38. Конструкция двухрезцового сверла:
а – схема двухрезцового сверла; *б* – схема деления стружки по ширине; *1* – направляющие жесткие; *2* – направляющая упругая; *3* – пружины; *4* – резина

Интересный и прогрессивный принцип устройства сверл для таких диаметров разработала фирма **Botek** (рис. 2.39). Особенностью инструментов этой фирмы является применение в качестве режущей части неперетачиваемых многогранных пластин из твердого сплава.

Фирма **Coromant** для сплошного сверления отверстий весьма больших диаметров (до нескольких сотен миллиметров) предложила конструкцию сверла с несколькими неперетачиваемыми твердосплавными пластинами (рис. 2.40).

Крепление сверл (часто их называют сверлильными головками) на стебле – борштанге производится на ленточной резьбе для того, чтобы при смене сверла после работы оно легко (без заклинивания) откручивалось.

Борштанги представляют собой толстостенные трубы из стали 50, термообработанные до 28...35 HRC. В случае невозможности изготовить борштангу из цельной трубы она делается составной (свинченной или сваренной) и обязательно обработанной по наружной поверхности с точностью h11 и шероховатостью Ra = 0,63...1,25 мкм. Такие строгие требования необходимы, так как борштанга при работе станка трется о подшипники поддерживающих люнетов, а при схеме сверления с вращением штанги – еще интенсивнее трется в уплотнениях маслоприемника.

На рис. 2.41 приведены две конструкции борштанг.

Базирование сверла в борштанге производится одним или двумя центрирующими цилиндрическими поверхностями и передним торцем. Требования к посадочным поверхностям: h8...h9 и Ra = 1,25 мкм.

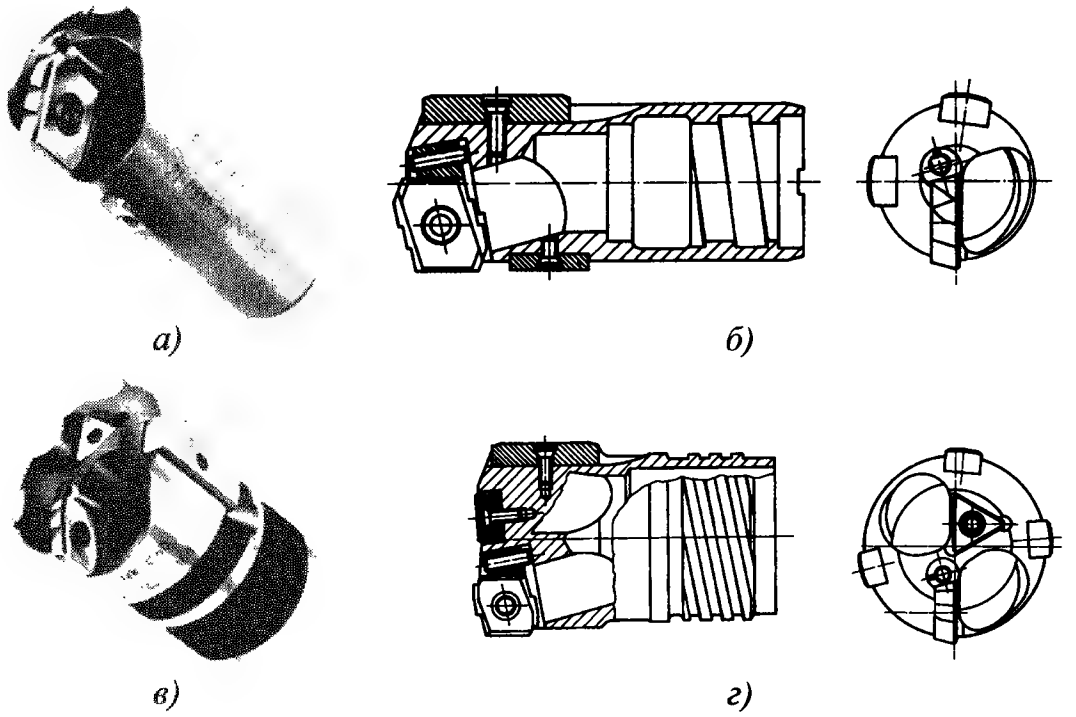


Рис. 2.39. Сверла фирмы Botek:
а, *б* – однорезцовое сверло сплошного сверления (внешний вид и устройство);
в, *г* – двухрезцовое сверло сплошного сверления (внешний вид и устройство)

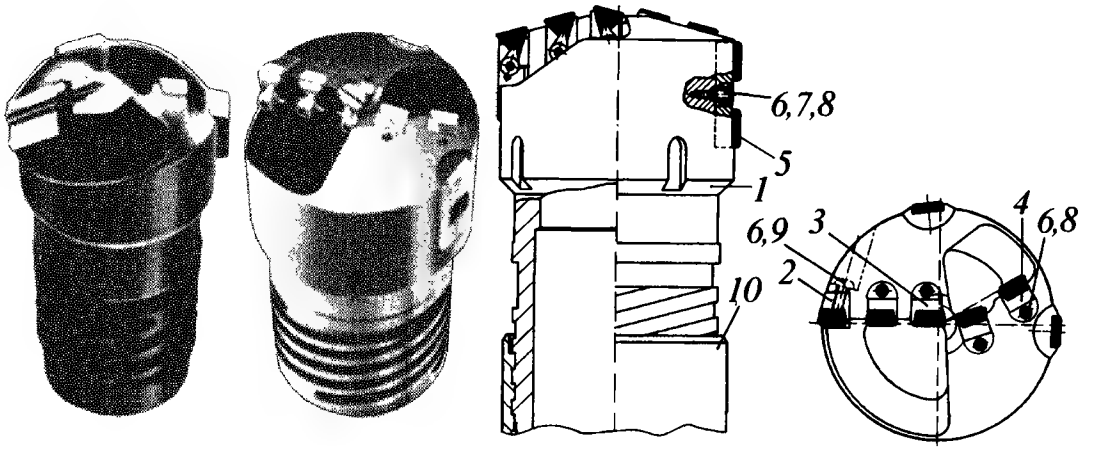


Рис. 2.40. Сверло фирмы Coromant для сверления отверстий большого диаметра с механическим креплением неперетачиваемых твердосплавных режущих пластин:
1 – корпус головки; *2* – державка наружной пластинки; *3* – державка центральной пластинки; *4* – державка промежуточной пластинки; *5* – направляющая пластинка; *6* – винт; *7* – шпонка; *8* – шпонка (WV3); 9 – шпонка (WV4); *10* – соединительная втулка

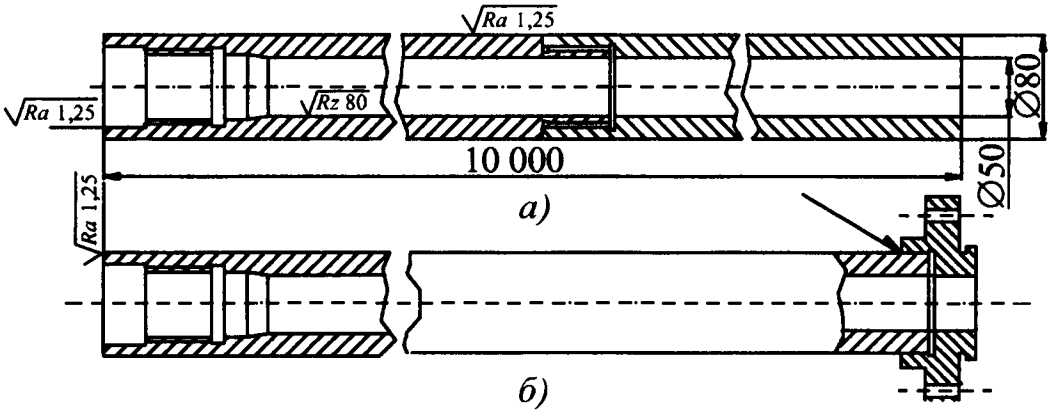


Рис. 2.41. Конструкции борштанг для крепления сверл глубокого сверления на станке:

а – составная с возможностью закрепления в суппорте в клеммовом зажиме; *б* – с креплением через фланец

В связи с тем, что все инструменты для изготовления глубоких каналов в момент входа в заготовку без каких либо вспомогательных устройств или действий работать не могут, необходимо создать в этот момент опору для направляющих.

Это в настоящее время делается за счет применения в маслоприемнике стальной, хорошо шлифованной по внутренней поверхности кондукторной втулкой. Зазоры между втулкой и направляющими сверл должны быть порядка 0,03…0,05 мм.

В этом случае сверло при дальнейшей работе обеспечит минимальные уводы и разбивку канала. Обычно вход сверла в заготовку из кондукторной втулки на полную длину направляющих производится на подаче, примерно в два раза меньшей, чем рабочая. Точность каналов, полученных при использовании захода из кондукторной втулки, достаточно высокая.

Например, сверление каналов ствольных труб пушек ЗИС-2 и ЗИФ-72 при большой относительной длине канала (73…80 калибров) производится с максимальным уводом в 2 мм (0,4…0,5 мм/м).

На рис. 2.42 показаны внешний вид маслоприемника и два варианта его устройства.

На разрезах хорошо видны возможные конструкции кондукторных втулок, уплотнений на торце (уплотняют торец заготовки) и уплотнений штанги.

Маслоприемник монтируется в бабке станка, центрируется и закрепляется в ней при помощи двух пар разжимных колец.

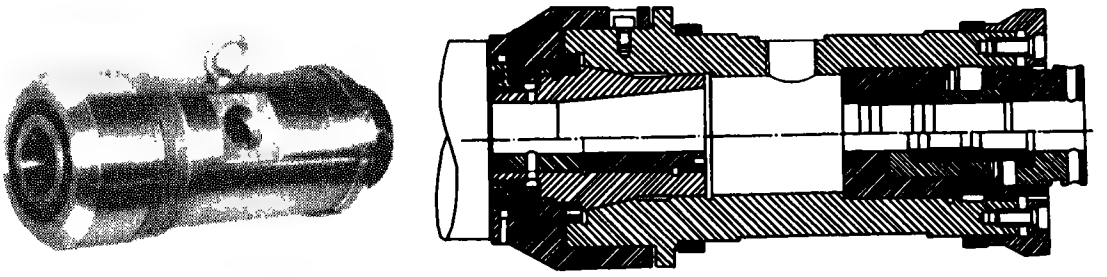


Рис. 2.42. Общий вид и конструкции маслоприемников для сверления глубоких каналов сверлами с внешним подводом СОЖ в зону резания

При необходимости сверлить глубокие каналы с диаметрами, отличными от штатных кондукторных втулок (например для изготовления опытных или единичных изделий), может быть использована методика получения правильного захода сверл определенного базирования, которая повсеместно применялась несколько десятилетий назад. Расточная оправка *1* (рис. 2.43), имеющая посадочные поверхности, одинаковые со сверлильными головками, ввертывается в борштангу. Резец *2* выставляется при помощи индикаторного прибора на радиус сверла и заготовка, предварительно надсверленная на глубину входа направляющих сверла, растачивается на диаметр базирования.

Ряд фирм Швеции, ФРГ, США, Англии применяют для сверления глубоких каналов диаметрами 25...100 мм так называемые эжекторные сверла. Схема эжекторного сверления показана на рис. 2.44.

Борштанга здесь состоит из двух стеблей: наружного *6*, который представляет собой толстостенную трубу, и внутреннего – тонкостенной трубы *5*.

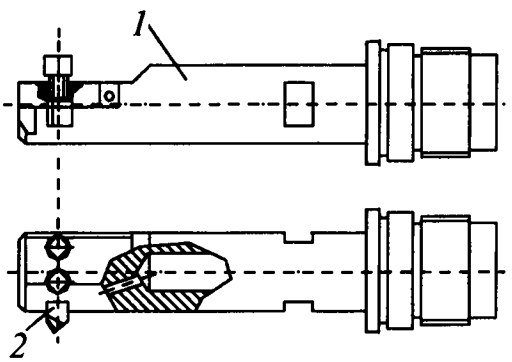


Рис. 2.43. Оправка для расточки заходного отверстия под базирование сверла в ствольной заготовке:
1 – корпус; *2* – резец

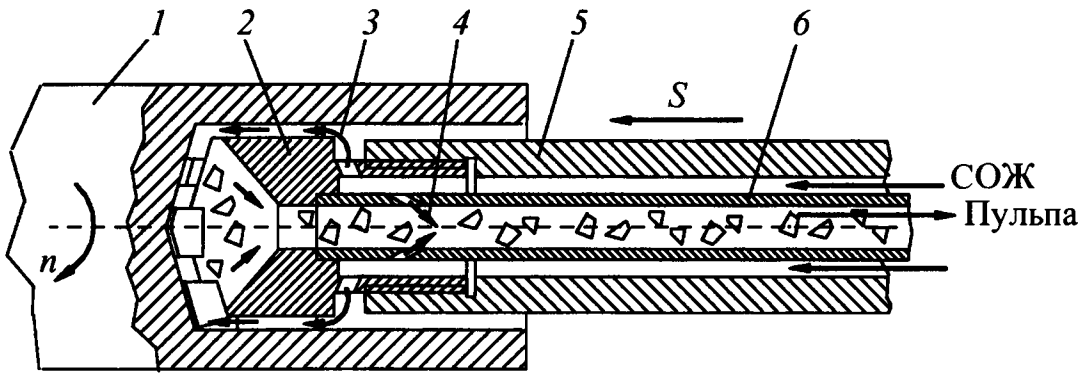


Рис. 2.44. Схема сверления глубокого канала эжекторным сверлом:
1 – заготовка; *2* – эжекторная сверлильная головка; *3* – поток СОЖ из сопел головки; *4* – поток СОЖ из сопел внутреннего стебля; *5* – наружный стебель; *6* – внутренний стебель

Наружный стебель крепится в суппорте станка и воспринимает нагрузку от работающего сверла: $M_{кр}$ и $P_{ос}$. Между внутренним и внешним стеблями есть зазор, в который под давлением подается СОЖ. Поток СОЖ в районе сверла разделяется. Большая часть потока через сопла внутреннего стебля устремляется по центральному каналу на выход. При этом в рабочей части сверла за счет истечения СОЖ из этих сопел возникает некоторое разрежение. Другая часть потока СОЖ через сопла сверла идет, как и у сверл с наружным подводом, к резцам и направляющим элементам, охлаждает и смазывает их, подхватывает элементы стружки и увлекает их в горловину сверла.

Достоинствами эжекторного сверления является отсутствие маслоприемника – узла сложного, требующего тщательного обслуживания и возможности сверлить глубокие каналы без вращения заготовки.

Крупный недостаток этой схемы – стабильная работа эжекторного сверла обеспечивается только при условии абсолютно надежного деления стружки по длине на элементы, свободно проходящие через горловину сверла. При нестабильном делении (при образовании сливной стружки) в горловине сверла может образоваться пробка. Пробка относительно небольшой плотности при наличии маслоприемника проталкивается в стебель за счет временного повышения давления СОЖ в подводящей магистрали (т.к. расход СОЖ сокращается). При эжекторном сверлении такие пробки не могут быть удалены, так как максимальное разряжение в горловине сверла – доли атмосферы.

2.6.2. Кольцевое сверление глубоких отверстий. Особенности конструкции кольцевых сверл

Кольцевым сверлением получают чаще всего отверстия с диаметрами свыше 80...100 мм. Основными преимуществами кольцевого сверления будут:

– меньший снимаемый объем металла;

– меньшие силы резания;

– меньшая потребная мощность;

– экономия высококачественного металла за счет образующегося керна, из которого можно изготавливать другие детали;

– в случае сверления центробежно-литой заготовки кольцевое сверление позволяет резцам сверла работать по металлу, не загрязненному песком от футеровки или шлаком, что существенно поднимет стойкость режущих кромок.

По методу подвода СОЖ и отвода стружки из зоны резания при кольцевом сверлении, как и при сплошном сверлении, могут быть применены схемы: с внутренним подводом СОЖ и наружным отводом стружки (рис. 2.45, *а*) и с наружным подводом СОЖ и внутренним отводом стружки (рис. 2. 45, *б*).

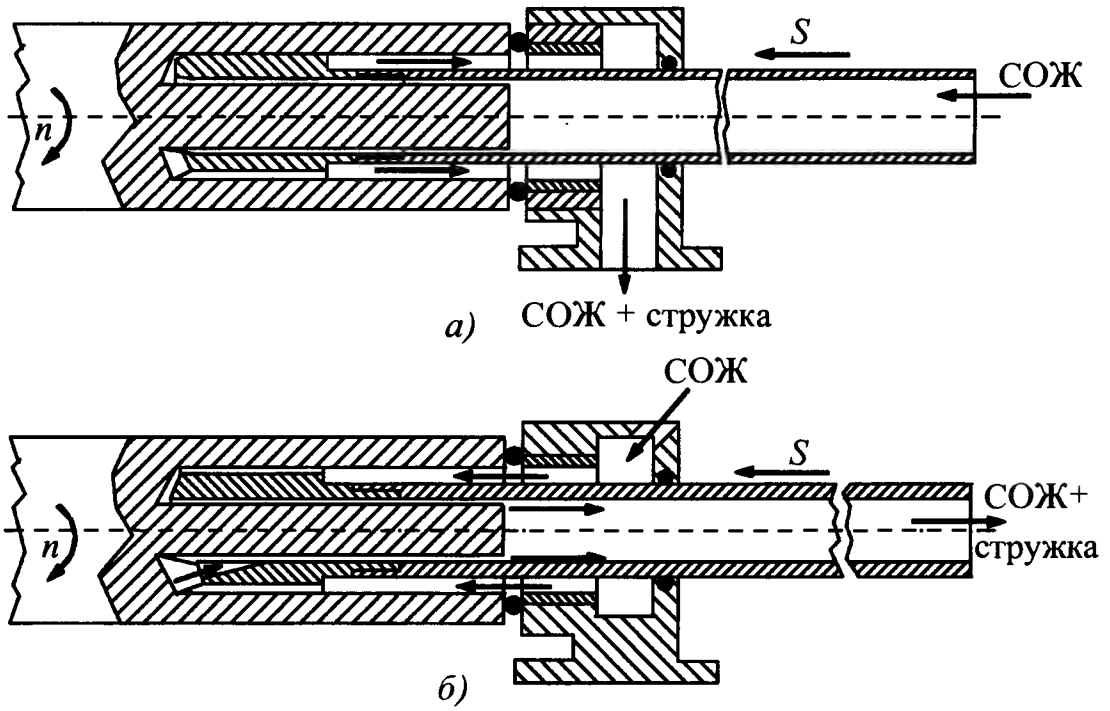


Рис. 2.45. Схемы кольцевого сверления: *а* – с внутренним подводом СОЖ и наружным отводом стружки; *б* – с наружным подводом СОЖ и внутренним отводом стружки

Схема (см. рис. 2.45, *б*) имеет преимущественное применение при кольцевом сверлении.

Так же, как и при сплошном сверлении, для получения минимальных уводов при кольцевом сверлении глубоких каналов применяются в подавляющем числе случаев сверла с определенным базированием.

Как и у сверл сплошного сверления, независимо от количества резцов в сверлильной головке, результирующая сил, действующих на сверло в плоскости, перпендикулярной оси сверла, должна проходить между жесткими направляющими.

Обязательным условием успешного кольцевого сверления является стабильное деление стружки по ширине и длине.

Деление по длине производится так же, как показано на рис. 2.36, за счет заточки на передней поверхности резцов лунок и порожков.

Деление по ширине обеспечивается подбором работающих зон резца при виде его в плане (рис. 2.46, *в*). Такая форма режущей кромки резца у однорезцового сверла наиболее распространена.

Она дает деление стружки на три ленты (см. рис. 2.46, *б*).

Однако средняя кромка резца (уголки ее) в таком сверле работает напряженно. Более надежная в этом смысле конструкция кольцевого сверла с внутренним отводом показана на рис. 2.47. Сверлильная головка имеет два резца с простейшими по заточке прямыми режущими кромками. Большим преимуществом такого сверла будет более узкая каждая лента стружки: их на ширине реза получается четыре. По случаю того, что эти сверла применяются для получения каналов больших диаметров, они имеют съемную кольцевую обойму с резцами, чтобы заточку и наладку резцов производить не с тяжелым и большим корпусом, а с более удобным и легким кольцом с резцами. Крепление резцового кольца на корпусе хорошо видно на схеме (см. рис. 2.47).

Режущие кромки резцов расположены так, чтобы элементы стружки направлялись в приемные окна головок. Ширина реза у кольцевых сверл назначается обычно порядка 15...30 % от диаметра отверстия. Очевидно, что при уменьшении ширины реза процесс сверления должен быть более экономичным, так как объем снимаемого металла будет меньшим. Однако сильно занижать ширину реза нельзя из-за возможной потери прочности и виброустойчивости сверла.

Исключением являются кольцевые сверла С.А. Черничкина [14].

Эти сверла **«коронки»** имеют ширину реза 6...13 % от диаметра канала (рис. 2.48). Сверла с такой шириной могут работать только при получении элементов стружки, легко размещающихся в каналах на наружной поверхности сверла и в их продолжениях на борштанге.

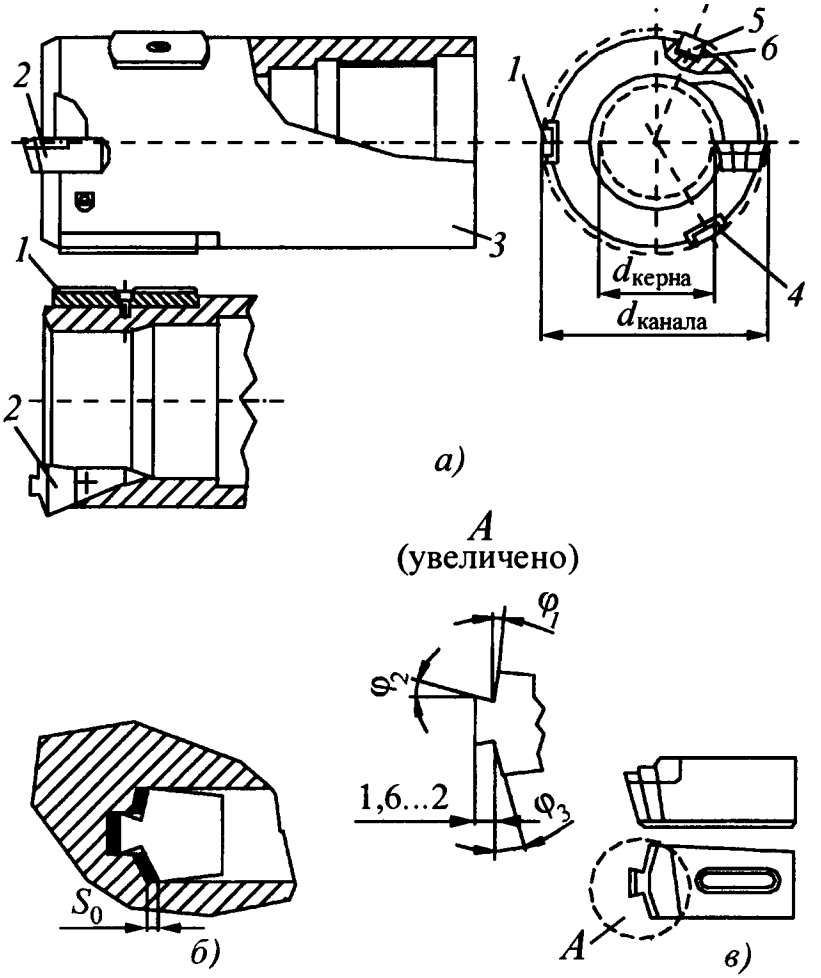


Рис. 2.46. Типовое однорезцовое сверло для кольцевого сверления глубоких отверстий: *1*, *4* – жесткие направляющие; *2* – резец; *3* – корпус; *5* – упругая направляющая; *6* – упругий элемент

Деление стружки при сверлении такими сверлами возможно только при кинематическом делении стружки по длине, когда деталь или инструмент совершают непрерывные осевые колебания от специальных устройств – вибраторов. Деление по ширине здесь получается за счет разной заточки режущих кромок четных и нечетных зубьев.

Благодаря таким сверлам, С.А. Черничкин на одном из заводов успешно высверливал отверстия в коробах авиационных пушек.

Получающиеся при этом керны из легированной стали шли на изготовление других деталей изделия.

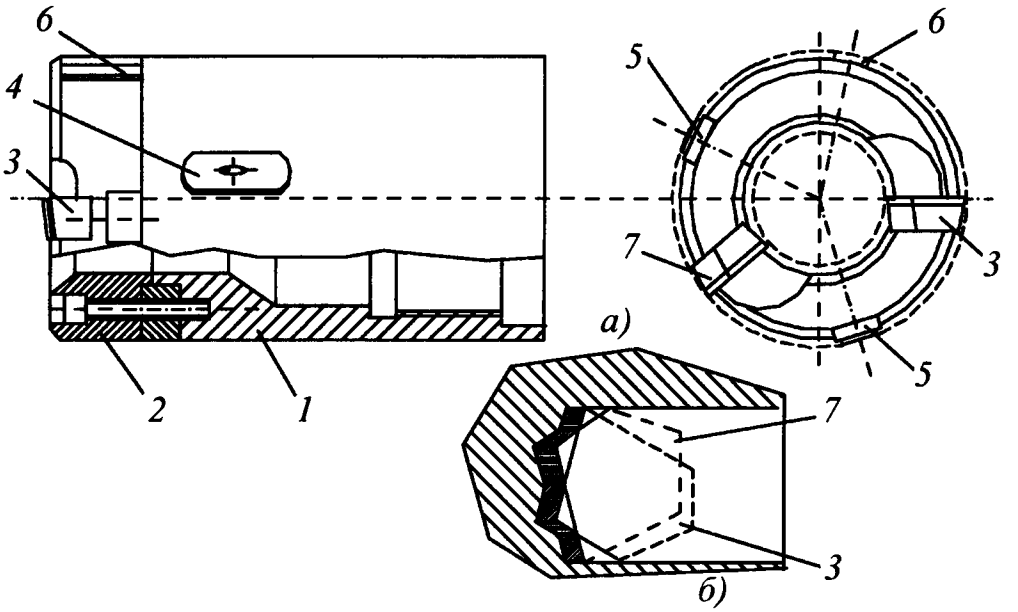


Рис. 2.47. Головка для кольцевого сверления с внутренним отводом стружки:

1 – корпус; *2* – съемное кольцо с резцами и направляющими; *3*, *7* – резцы; *4* – упругие направляющие на корпусе; *5* – жесткие направляющие; *6* – упругая направляющая кольца

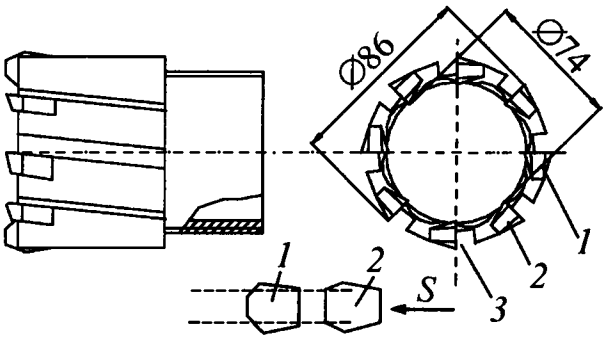


Рис. 2.48. Кольцевое сверло (коронка) Черничкина:

1 – резец нечетный; *2* – резец четный; *3* – канал для удаления стружки

Вход кольцевых сверл в заготовку производится так же, как и у сверл сплошного сверления.

При кольцевом сверлении глубоких отверстий возможно провисание и биение длинного керна о стенки внутри борштанги.

В случаях, когда этого желательно избежать, перед входом сверла в заготовку на ее торце крепят поддерживающую пробку, диаметр которой несколько меньше внутреннего диаметра борштанги.

2.6.3. Средние значения режимов и затраты времени при сверлении глубоких каналов в заготовках ствольных труб

Каналы в ствольных заготовках сверлятся после нормализации или полной термообработки (закалки и отпусков).

Основные механические свойства ствольных заготовок даны в табл. 2.15.

2.15. Механические свойства заготовок ствольных труб перед сверлением канала

Механические свойства	В отожженном состоянии	После окончательной термообработки
$\sigma_{пц}$, МПа	–	800...1200
$\sigma_в$, МПа	800...900	–
ψ, %	65...68	20...35
$a_н$, Дж/см^2	11...18	25...35
НВ	220...230	290...338

Режимы сплошного сверления ствольных заготовок, взятых из реальных технологических процессов, приведены в табл. 2.16.

2.16. Режимы сверления каналов ствольных труб

Изделие	$d_{отв}$, мм	Материал заготовки	Вид заготовки	v, м/мин	n_Σ, об/мин
С-60	54	ОХН3МФ	Поковка	55	320
ЗИС-3	65	ОХН1М	Поковка	14	68,4
2А-20	96	ОХН3МФ	Отливка	105	349
2А-17	100	ОХН3МФ	Поковка	107	340
М-46	105	ОХН3МФ	Поковка	135	409

Изделие	Подача			Сверление
	$S_о$, мм/об	$S_м$, мм/мин	$S_ч$, мм/ч	
С-60	0,094	30	1800	После термообработки
ЗИС-3	0,336	23	1380	До термообработки
2А-20	0,165	57	3420	До термообработки
2А-17	0,166	56	3400	До термообработки
М-46	0,15	61,35	3680	До термообработки

Примечание. Режимы сверления трубы ЗИС3 инструментом из быстрорежущей стали даны для периода Великой Отечественной войны.

Рекомендации по сверлению ствольных заготовок, разработанные технологическими лабораториями, приведены в табл. 2.17.

2.17. Рекомендованные режимы сверления каналов ствольных труб

Тип сверла	$d_{отв}$, мм	$\sigma_{пц}$, МПа			
		660...750		760...850	
		S_o, мм/об	v, м/мин	S_o, мм/об	v, м/мин
Однорезцовое	20	0,06	61	0,06	58
	40	0,12	70	0,11	66
Двухрезцовое	60	0,15	74	0,14	68
	70	0,19	83	0,18	78
Трехрезцовое	90	0,22	89	0,21	84
	110	0,23	97	0,23	93
	130	0,25	108	0,24	101

Тип сверла	$d_{отв}$, мм	$\sigma_{пц}$, МПа					
		860...950		960...1100		1110...1250	
		S_o, мм/об	v, м/мин	S_o, мм/об	v, м/мин	S_o, мм/об	v, м/мин
Однорезцовое	20	0,06	53	0,05	48	0,04	44
	40	0,10	63	0,09	60	0,08	55
Двухрезцовое	60	0,12	62	0,11	60	0,10	57
	70	0,16	73	0,14	70	0,13	66
Трехрезцовое	90	0,19	77	0,17	74	0,16	70
	110	0,21	87	0,19	83	0,18	78
	130	0,22	94	0,20	90	0,19	86

Примечания: 1. Материалом для резцов служит твердый сплав Т15К6.

2. При засверливании заходов коэффициент $K_{So} = 0,6$.

Режимы кольцевого сверления заготовок даны в табл. 2.18.

2.18. Режимы кольцевого сверления каналов ствольных труб

Тип сверла	v, м/мин	Подача	
		$S_о$, мм/об	$S_ч$, мм/час
Кольцевые с резцами из твердых сплавов	50...75	0,15...0,2	1150...1350
То же, по рекомендациям технологических лабораторий	80...120	0,15...0,2	2250...4500
Тонкостенные коронки Черничкина при вибрационном сверлении	25...45*	0,06...0,08	700...1200

* В зависимости от материала.

Представляет интерес случай кольцевого двухстороннего сверления сверлом с двумя твердосплавными резцами такого типа, как показанное на рис. 2.47.

С одной стороны сверлился канал диаметром 165 мм на глубину 7000 мм. С другой стороны – диаметром 160 мм и глубиной 5000 мм. Вращение задавалось как заготовке (16 об/мин), так и борштанге (90 об/мин). Скорость резания при этом составляла 55 м/мин, подача – 0,21 мм/об, а часовая – 1320 мм/ч.

Примеры режимов сверления глубоких каналов по зарубежным данным приведены в табл. 2.19.

2.19. Режимы сверления глубоких каналов (по данным зарубежных источников)

Сверление	$d_{отв}$, мм	v, м/мин	$n_Σ$, об/мин	Подача сверла			$N_{гл.пр}$, кВт
				$S_о$, мм/об	$S_м$, мм/мин	$S_ч$, мм/ч	
Сплошное	40	140	1100	0,17	187	11 200	23
	60	140	740	0,17	126	7550	43
Кольцевое	80	120	480	0,2	96	5760	47
	100	120	380	0,25	95	5200	50
	125	120	310	0,24	74	4460	60

В табл. 2.20 приведены расчетные затраты времени сверления каналов по реальным технологическим процессам.

2.20. Затраты времени при сверлении каналов стволов

Изделие	$d_{отв}$, мм	$L_{кан}$, мм	$T_{шт}$, мин	$T_{маш}$, мин	$T_{всп}$, мин	$T_{маш}/T_{шт}$, %
С-60	54	4400	198	137	50	69
ЗИС-3	65	3580	203	162	31	80
2А-20	96	6670	270	140	104	52
2А-17	100	6450	190	135	46	71
М-46	105	7825	220	147	57	67

2.7. Растачивание глубоких каналов

2.7.1. Назначение растачивания

После сверления и термообработки каналы ствольных заготовок имеют низкие показатели по шероховатости поверхности, точности, непрямолинейности канала по сравнению с требованиями, предъявляемыми к готовым трубам.

Поверхность канала покрыта окалиной. Из-за искривления заготовки, увода оси при сверлении просверленные трубы требуют дополнительной доработки – **растачивания**. Растачивание, в связи со сказанными причинами, должно вестись с переменным припуском. Разность в глубинах резания иногда бывает весьма значительной – 5...6 мм.

Отсюда следует, что растачивание ствольных заготовок после сверления и термообработки должно преследовать три основные цели:

– получить прямолинейный канал;

– обеспечить достаточно высокую цилиндричность канала;

– существенно уменьшить шероховатость канала.

2.7.2. Технические требования, предъявляемые к процессу растачивания

Чистовое растачивание должно обеспечить непрямолинейность готового ствола. Последующие операции обработки канала только уменьшают его шероховатость и несколько улучшают цилиндричность. Ранее

(см. рис. 2.28) была рассмотрена схема образования остаточных напряжений после термообработки, которые при обтачивании и растачивании заготовки влияют на прямолинейность оси канала. В этом разделе показана необходимость чередования операций растачивания и обтачивания. Реальные технологические процессы действительно строятся по этому принципу. В табл. 2.21 приведена последовательность чередования процессов при изготовлении реальных ствольных труб после полной термообработки.

2.21. Чередование операций механической обработки ствольных труб после их полной термообработки

Изделие	Номер операции в техпроцессе	Операция
2А-20	3	Полное предварительное обтачивание
	4	Растачивание черновое
	5	Обтачивание полное
	7	Растачивание получистовое и чистовое
	11	Обтачивание дульной половины трубы
	12	Обтачивание казенной половины трубы
2А-17	2	Полное предварительное обтачивание
	3	Растачивание
	4	Обтачивание под кожух
	1	Обтачивание предварительное *
	2	Растачивание получистовое *
	7	Обтачивание кожуха под шлифовку *
	8	Обтачивание конусов трубы *
М-46	3	Растачивание черновое
	4	Полное предварительное обтачивание
	6	Растачивание получистовое и чистовое
	14	Обтачивание шейки и казенного бурта
	15	Обтачивание шейки и дульного бурта
	16	Полное получистовое обтачивание
	17	Полное чистовое обтачивание

* Операции выполняются после скрепления с кожухом.

Из табл. 2.21 видно, что все процессы изготовления ствольных труб заканчиваются чистовым обтачиванием. Причина этого была разобрана ранее.

Требования к расточенным каналам приведены в табл. 2.22.

2.22. Точностные требования к каналам ствольных труб после их окончательной расточки

Изделие	Вид растачивания	Диаметр растачивания, мм	Допуск на растачиваемый диаметр, мм	Квалитет	Шероховатость, мкм
ЗИС-2	Получистовое	56,15	0,15	11	*Rz* =40
	Чистовое	56,83	0,04	8	*Ra* =2,5
С-60	Получистовое	56,15	0,15	11	*Rz* =40
	Чистовое	56,83	0,04	8	*Ra* =2,5
ЗИФ-67	Черновое	72,5	0,30	12...13	*Rz* =80
	Получистовое	75,15	0,10	10	*Rz* =40
	Чистовое	76,10	0,05	8	*Ra* =2,5
2А-20	Черновое	105,00	1,00	15	*Rz* =160
	Получистовое	113,8	0,20	11	–
	Чистовое	115,00	0,03	7...8	*Ra* =2,5
2А-17	Черновое	112,00	1,00	15	*Rz* =160
	Получистовое	120,65	0,15	10	–
	Чистовое	121,7	0,10	10	*Ra* =2,5
М-46	Черновое	118,00	1,00	15	*Rz* =320
	Получистовое	128,7	0,30	12...13	–
	Чистовое	129,85	0,10	10	*Ra* =2,5

Из таблицы видно, что предварительное и получистовое растачивание производятся по квалитету 15...10, а чистовое – 8...10.

Шероховатость поверхности после чистового растачивания составляет $Ra = 2,5$ мкм.

В некоторых технологических процессах оговаривается допустимая конусность после чистового растачивания в пределах 0,05 мм, возникающая из-за износа резцов и направляющих расточных головок.

При обмере каналов после чистового растачивания овальность и конусность должны укладываться в допуск на операцию растачивания.

В табл. 2.23 показаны некоторые требования технологических процессов, которые проверяются до и после растачивания.

2.23. Параметры, замеряемые до и после растачивания ствольных труб

Изделие	Биение наружной поверхности перед растачиванием, мм	Разностенность перед растачиванием, мм	Непрямолинейность канала после растачивания, мм
С-60	≤ 1,5	≤ 4	≤ 1,5 (чистового)
2А-20	≤ 8	–	≤ 2 (чернового) ≤ 1,5 (чистового)
2А-17	≤ 3 (черновым) ≤ 1 (чистовым)	–	–
М-46	≤ 8	–	≤ 1,5

Чтобы обеспечить достаточно жесткие требования к каналам до и после растачивания, приведенные в таблицах, необходимо применять специальные инструменты и станки, а также выполнить ряд требований по базированию детали перед растачиванием, по конструкции инструментов и схемам обработки.

2.7.3. Схемы растачивания ствольных труб

Практически всегда растачивание ствольных труб проводится с одной стороны детали на всю глубину (в некоторых техпроцессах растачивание ведется сначала с одного торца, а затем вторым проходом с другого, но каждый проход не должен иметь промежуточных выходов инструмента).

Вращение (главное движение растачивания) чаще всего задается детали. При такой схеме, как показывают и практика, и теоретические исследования, главная характеристика канала – прямолинейность – обеспечивается надежнее, хотя вращать тяжелую деталь с большими оборотами сложнее, чем сбалансированную борштангу с расточной головкой.

В зависимости от конструкции инструмента схемы растачивания могут быть различными: на рис. 2.49 приведены схемы, которые используют предприятия.

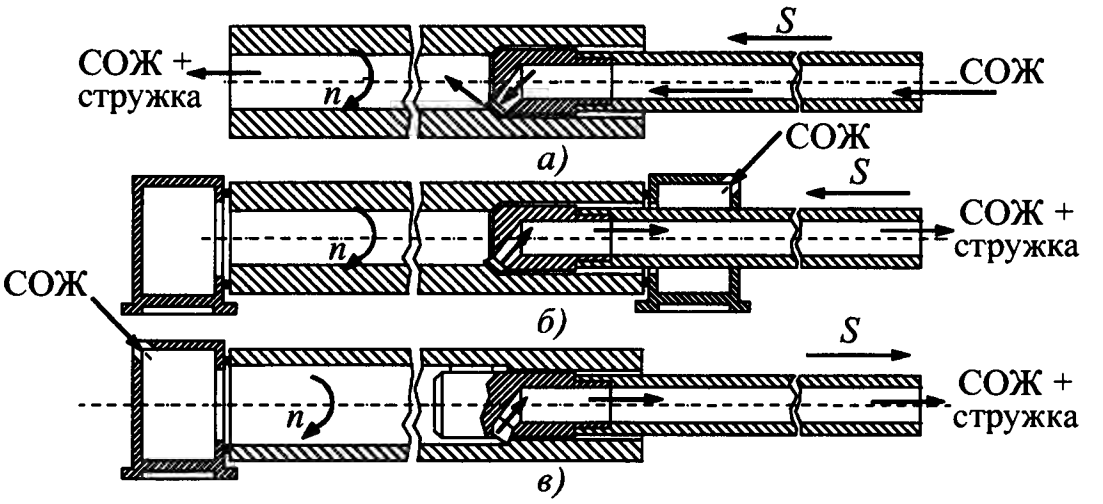


Рис. 2.49. Схемы растачивания ствольных труб:
а – инструмент работает на сжатие, удаление стружки потоком СОЖ перед инструментом; *б* – инструмент работает на сжатие, удаление стружки внутри инструмента и борштанги; *в* – инструмент работает на растяжение, удаление стружки внутри инструмента и борштанги

Достоинство **схемы *а*** – максимальная простота приспособлений станка для подачи СОЖ. Недостатком этой схемы будет возможность попадания мелких частиц стружки под направляющие головки, что вызовет надиры на поверхности канала и повышенный износ направляющих. **Схемы *б* и *в*** этого недостатка не имеют, но требуют для работы наличия сложных узлов (маслоприемников).

Растачивание каналов ствольных труб может проводиться как с дульной, так и с казенной части. Трубы малого (до 100 мм) калибра растачиваются с дула, так как у них припуск в дульной части относительно малый и растачивание таких труб с казны за счет увода может вывести трубу в неисправимый брак. Но трубы больших калибров, напротив, растачиваются обычно с казны, чтобы канал после растачивания был максимально соосен с наружной поверхностью. В казенной части металла больше, поэтому при соблюдении соосности и обтачивании казны не потребуется его большого снятия.

При установке на станке заготовка базируется на наружные поверхности в кулачках зажимных планшайб и на шейки, проточенные на наружных поверхностях, в люнетах.

Положение детали перед растачиванием обычно проверяется по биению предварительного канала рычажным прибором с индикаторным отсчетом. Схема такого прибора (рис. 2.50) чрезвычайно проста.

При вращении заготовки приводом станка прибор будет показывать биение канала относительно оси станка. Это биение может быть отрегулировано базирующезажимными устройствами до требуемой величины. Расстояние от торца детали до измерительного ролика обычно бывает в пределах 500...1500 мм.

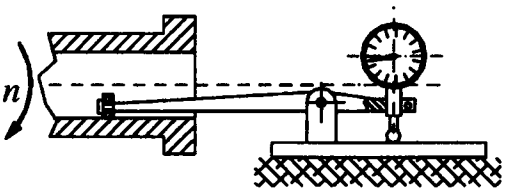


Рис. 2.50. Схема прибора выверки положения канала относительно оси станка перед растачиванием

Биение противоположного торца заготовки выверяется по биению шеек на наружной поверхности трубы. Допустимые биения по шейкам 0,3...0,5 мм. Биения канала, которые показывает индикатор, приведены в табл. 2.24.

2.24. Допустимые биения каналов перед растачиванием

Изделие	Биение заготовки по каналу перед растачиванием, мм	
	Черновое растачивание	Чистовое растачивание
2А-20	0,5	0,5
2А-17	0,2	0,1
М-46	0,3	0,3

В связи с различным характером требований, к результатам процесса растачивания каналов труб (прямолинейность оси, цилиндричность канала, малая шероховатость) в настоящее время применяется несколько типов расточного инструмента.

Качество полученного канала во многом зависит от правильности выполнения захода расточного инструмента в канал.

Чаще всего сейчас расточной инструмент входит в канал из точной, хорошо шлифованной кондукторной втулки.

Очень редко может встретиться случай, когда растачивание необходимо проводить или на нештатный диаметр, или когда программа выпуска чрезвычайно мала: 1...2 штуки. В этом случае, как и при сверлении каналов, может быть применена расточная головка для заходных отверстий (см. рис. 2.43).

2.7.4. Инструмент для растачивания ствольных труб

Можно подразделить расточной инструмент на *головки для чернового и получистового растачивания* и на *головки для чистового растачивания*.

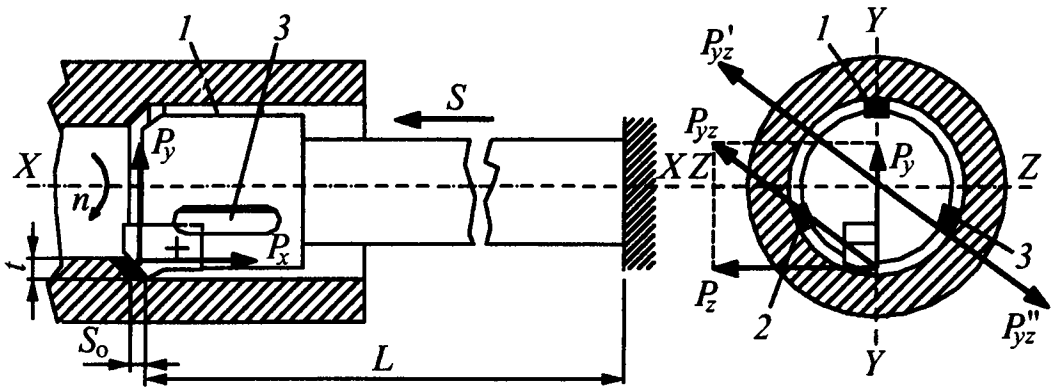


Рис. 2.51. Схема нагружения расточной головки с определенным базированием:
1, *2* – жесткие направляющие элементы; *3* – упругий элемент

Для чернового и получистового растачивания применяются головки определенного базирования, когда результирующая сила P_{yz} (рис. 2.51) проходит между жесткими направляющими *1* и *2*, надежно прижимая их к уже расточенной поверхности канала.

Из схемы видно, что если результирующую в плоскости *YZ* силу P_{yz} перенести в центр головки (P'_{yz}) и приложить к центру такую же по величине силу, но противоположного направления (P''_{yz}), то сила P'_{yz} будет надежно прижимать головку к поверхности канала, а силы P''_{yz} и P_{yz} создадут крутящий момент. Безусловно, на направляющих будут действовать силы трения, которые благодаря их малости на схеме не показаны.

На схеме видно сечение снимаемой стружки $t \times S_o$ (t – глубина резания) и можно предположить, что стружка должна удаляться перед инструментом по предварительно обработанному каналу.

Конструктивная реализация такой схемы показана на рис. 2.52, а внешний вид однорезцовой расточной головки и внутреннее устройство даны на рис. 2.53.

Головки такой конструкции могут работать в соответствии со **схемой** (см. рис. 2.50, *а*), когда из борштанги во внутреннюю полость головки подается СОЖ и стружка удаляется перед инструментом по предварительному каналу, и в соответствии со **схемой** (см. рис. 2.50, *б*), когда СОЖ подводится в рабочую зону головки из маслоприемника и стружка удаляется из канала через головку и внутри борштанги в стружкосборник.

Качественная работа расточных головок может происходить только тогда, когда расположение вершины резца и двух жестких направляющих окажется строго на одном диаметре.

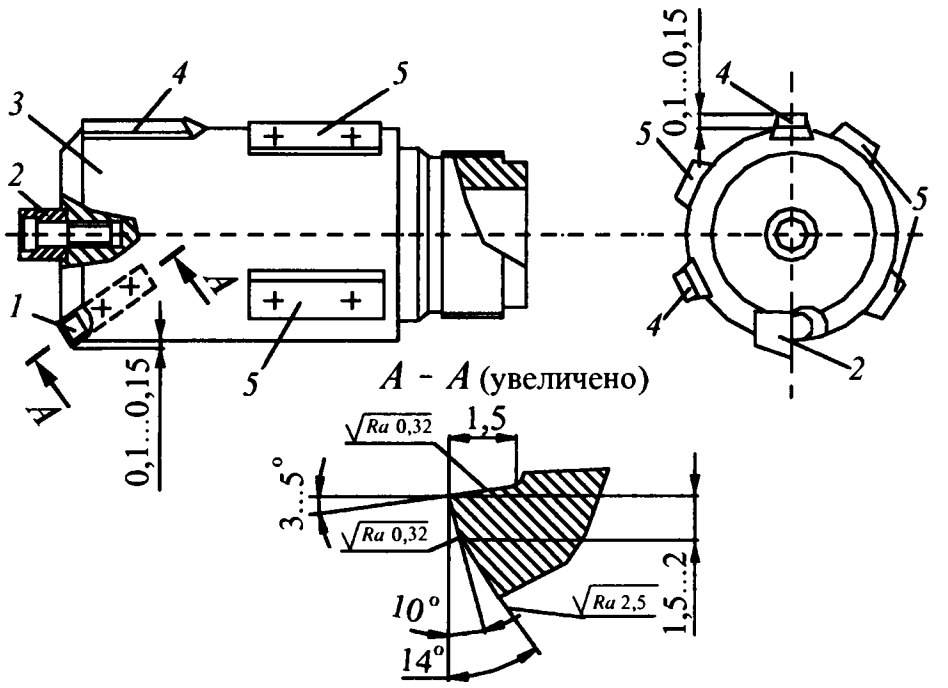


Рис. 2.52. Эскиз конструкции однорезцовой расточной головки с определенным базированием:

1 – резец; *2* – контрольная втулка; *3* – корпус; *4* – жесткая направляющая; *5* – упругая направляющая

Жесткие направляющие при изготовлении головки шлифуются на круглошлифовальном станке в центрах на будущий диаметр растачивания. На этот диаметр и надо вывести вершину расточного резца. Для этого на головке крепится контрольная втулка *2* (см. рис. 2.52), на которую по посадке H7/h7 надевается контрольное приспособление (рис. 2.54, *а*), и ползунок *1* сначала устанавливается на радиус $R_{напр}$, винтом закрепляется на планке *2* и поворачивается к резцу. Резец подводится до соприкосновения с ползунком (рис. 2.54, *б*) и закрепляется. Достигается равенство $R_{напр}$ и $R_{рез}$. На этом наладка расточной головки заканчивается.

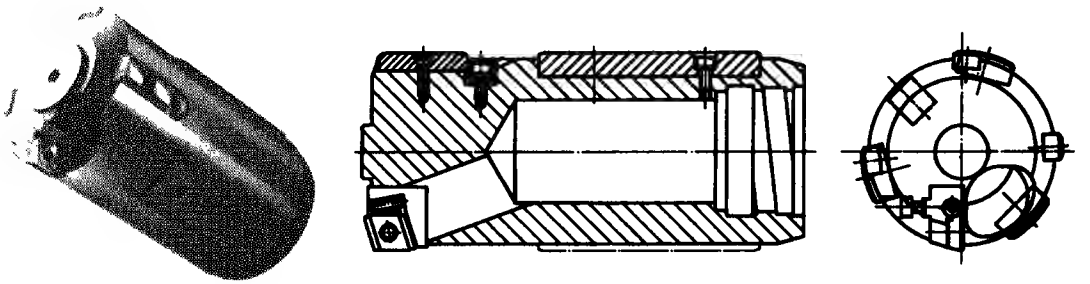


Рис. 2.53. Внешний вид и устройство однорезцовой расточной головки с определенным базированием фирмы Botek

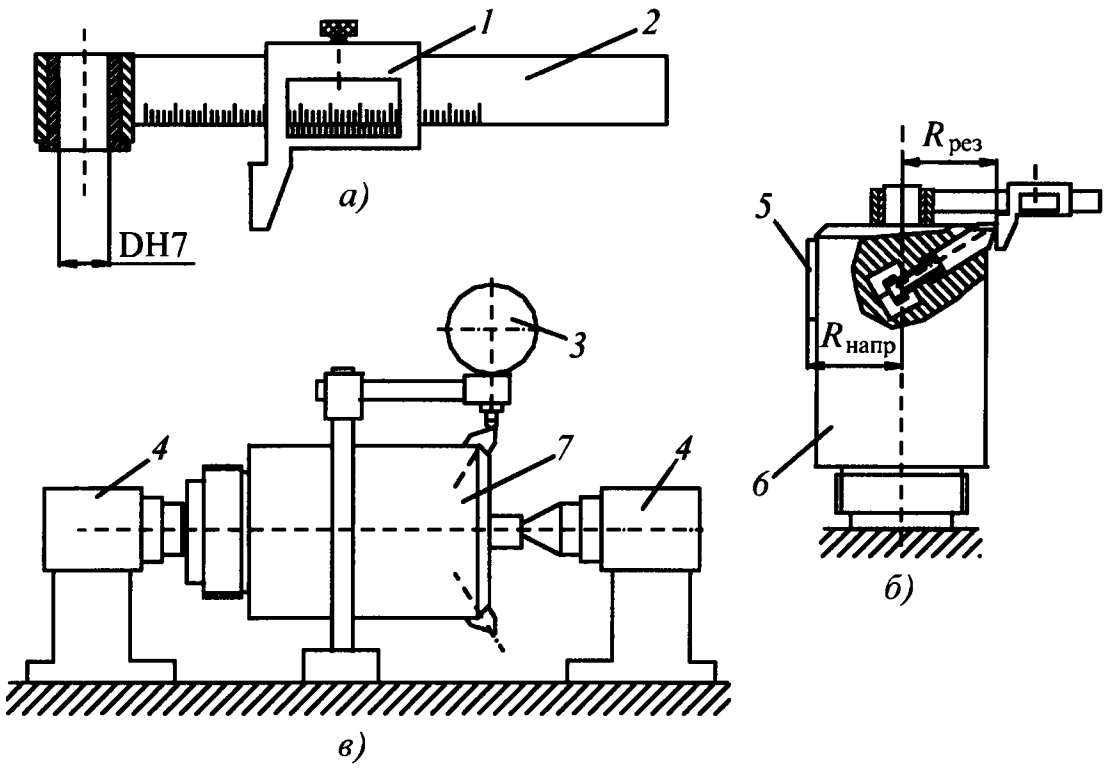


Рис. 2.54. Контрольное приспособление (*а*) для установки радиуса расточного резца: *б* – схема установки резца на радиус жестких направляющих. *в* – схема выверки положения вершин расточных резцов двухрезцовой головки; *1* – ползунок; *2* – планка со шкалой; *3* – индикатор; *4* – стойки с центрами; *5* – жесткая направляющая; *6* – корпус головки

В случае применения расточной головки с двумя оппозитно расположенными резцами, их выверка осуществляется с применением индикатора и двух стоек с центрами (рис. 2.54, *в*). Причем, это приспособление находится прямо на рабочем месте и расточник сам производит эту выверку.

Растачивание производится с целью: *а* – уменьшить непрямолинейность оси канала (предварительное или черновое растачивание); *б* – приблизить растачиваемый диаметр к диаметру, заданному чертежом (получистовое растачивание); *в* – расточить канал на заданный диаметр (чистовое растачивание).

При черновом и получистовом растачивании применяются головки с одним или двумя оппозитно (диаметрально противоположно) расположенными резцами. Головки работают как **«на сжатие»**, так и **«на растяжение»** (см. рис. 2.49), причем непрямолинейность при работе на растяжение получается меньшей.

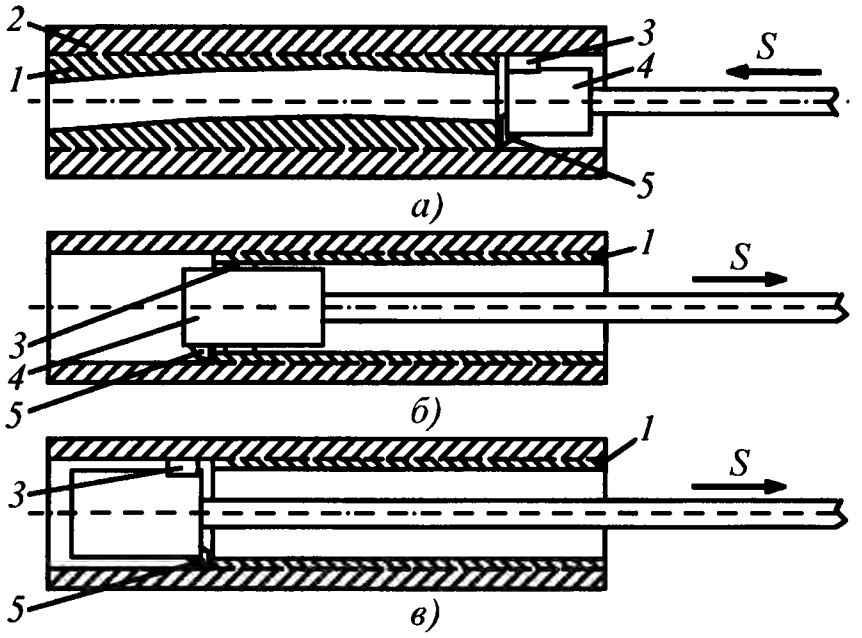


Рис. 2.55. Схемы возможных вариантов растачивания канала:
а – первый проход «на сжатие»; *б* – проход «на растяжение» без уменьшения непрямолинейности; *в* – проход «на растяжение» с уменьшением непрямолинейности; *1* – снимаемый слой;*2* – изделие; *3* – направляющая; *4* – головка; *5* – резец

Работа на растяжение может проводиться с базированием на предварительно расточенный канал. Тогда головка, отработавшая первым проходом на сжатие (рис. 2.55, *а*), а при смене резца вторым проходом работает на растяжение (рис. 2.55, *б*).

Направляющие головки базируются на расточенный первым проходом канал и не исправляют оставшуюся после первого прохода непрямолинейность. Растачивание при этом только увеличивает диаметр канала.

Если после первого чернового прохода на сжатие производят смену головки, и она направляется вторым проходом из новой кондукторной втулки с ее диаметром, то здесь непрямолинейность канала уменьшается одновременно с увеличением растачиваемого диаметра (рис. 2.55, *в*).

Сейчас растачивание каналов стараются вести головками с двумя резцами, так как они имеют вдвое большую производительность по сравнению с однорезцовыми (рис. 2.56).

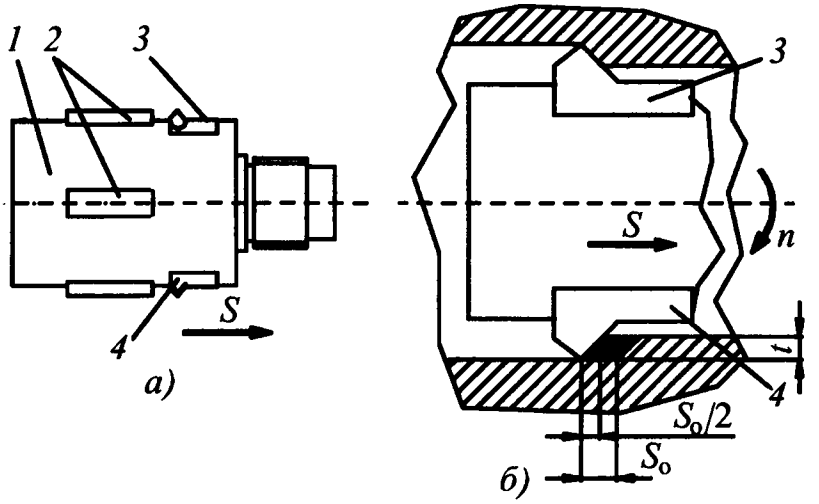


Рис. 2.56. Растачивание каналов двухрезцовой головкой:
а – схема расположения двух оппозитных резцов в расточной головке;
б – схема сечения срезаемого слоя такой головкой; *1* – корпус головки;
2 – направляющие; *3*, *4* – резцы

Для производительного получистового растачивания отверстий применяются головки с двумя резцами или жестко закрепленным двусторонним резцовым блоком и четырьмя направляющими, которые имеют возможность одновременно перемещаться по радиусу (рис. 2.57).

Головка имеет четыре жестких направляющих *3*, которые опираются на втулку *8*. Эта втулка, при поджатии гайками *6* пружины *7* с поперечными надрезами, перемещает втулку *8* влево. При этом направляющие *3*

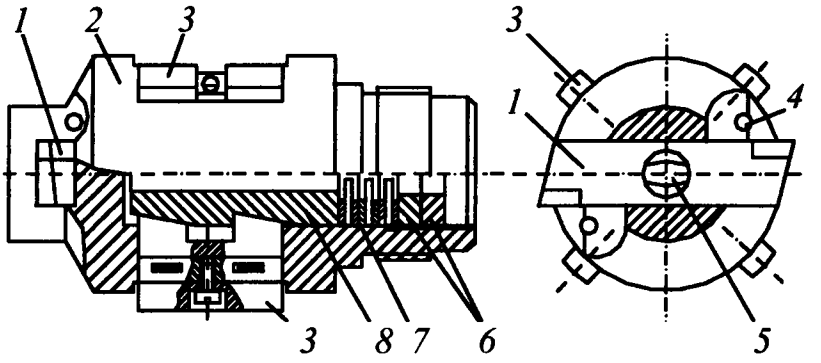


Рис. 2.57. Расточная головка для получистового растачивания каналов резцовым блоком:
1 – резцовый блок; *2* – корпус; *3* – направляющие; *4* – отверстие подачи СОЖ;
5 – центрирующий палец; *6* – регулировочные гайки; *7* – пружинная втулка;
8 – втулка опорная

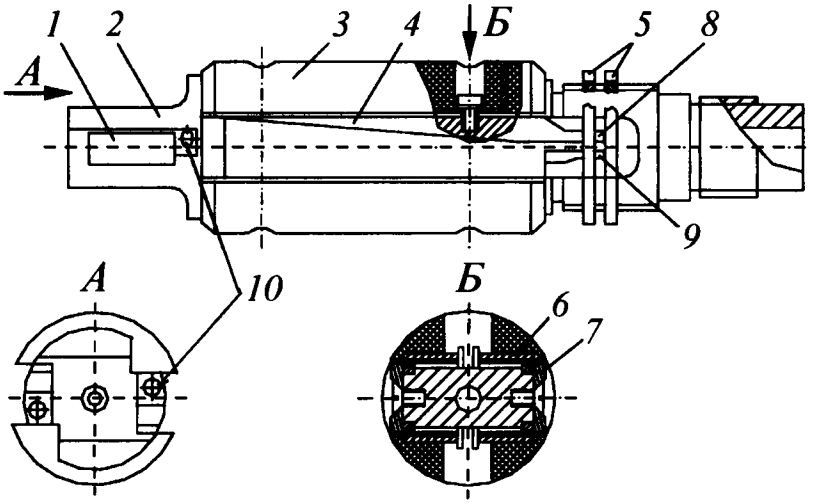


Рис. 2.58. Головка для чистового растачивания глубоких каналов плавающими резцовыми блоками:

1 – окно для плавающего блока; *2* – корпус; *3* – резиновая направляющая; *4* – клиновая пластина; *5* – регулировочные гайки; *6* – стальное основание направляющей; *7* – щека; *8*, *9* – законцовки клиновых пластин; *10* – отверстие подачи СОЖ

распираются и центрируют головку в канале. Усилие поджатия направляющих к поверхности канала гайками *6* регулируется в пределах 100...700 кН. Такая конструкция направляющих надежно центрирует головку и гасит ее поперечные колебания при работе. Симметрично заточенный двухрезцовый блок жестко базируется в корпусе головки центрирующим пальцем *5*.

Чистовое растачивание глубоких каналов должно уменьшить шероховатость от предыдущего растачивания и получить конечный диаметр канала. (Правда, часто после чистового растачивания поверхность канала дорабатывается хонингованием или раскатыванием).

Чистовое растачивание производится головками (рис. 2.58) с пазом, в который устанавливается плавающий двухрезцовый блок (ройма).

Головка с плавающим резцовым блоком базируется в канале двумя направляющими *3*, изготовленными из маслостойкой резины. Направляющие перед заходом в канал выставляются по радиусу клиновыми пластинами *4* на диаметр, несколько превышающий диаметр канала. Это позволяет надежно центрировать головку при работе и одновременно гасить ее поперечные колебания. Пластины *4* имеют отогнутые законцовки *8*, *9*, которые защемлены между гаек *5*, чем они и фиксируются на необходимом размере. Для того, чтобы элементы стружки при работе не

попадали в направляющие (что будет приводить к царапанию расточенной поверхности), в головку через штангу подается СОЖ под давлением. Струи СОЖ из отверстий *10* смывают стружку и гонят ее перед расточной головкой по предварительному каналу.

На рис. 2.59, *а* приведены схема работы плавающего блока и его конструкция. Из схемы очевидно, что при растачивании канала с непрямолинейной осью, блок за счет неравномерного припуска должен быть нагружен разными по величине радиальными составляющими силы резания (P_{y1} и P_{y2}).

Но, так как блок плавающий, эти силы заставят его занять то положение, при котором они сравняются. В этом случае, блок будет стремиться снимать слой припуска одинаковой величины с обеих сторон. Поэтому расточная головка вынуждена следить за положением оси предварительного канала (рис. 2.59, *б*).

Сам плавающий блок (рис. 2.59, *г*) стальной с хорошо шлифованными боковыми поверхностями. В окно головки они входят на скользящей посадке 6...7 квалитетов. Шероховатость контактных поверхностей окна и блока доводится до Ra =1,25 мкм.

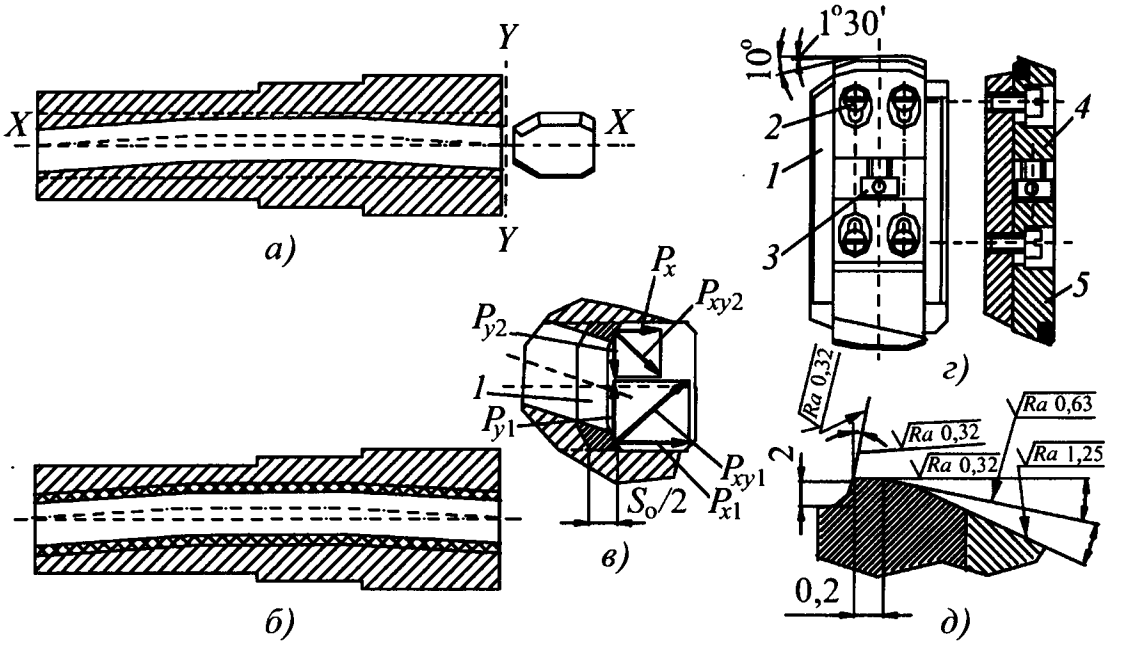


Рис. 2.59. Схема работы плавающего расточного блока (*а*, *б*, *в*), его конструкция (*г*) и геометрия режущей части (*д*):
1 – корпус; *2* – крепежные винты; *3* – регулировочный винт; *4*, *5* – резцовые пластины

Режущие части для диаметров каналов 50...60 мм выполняются из быстрорежущей стали, для каналов больших диаметров оснащаются припаянными пластинами твердого сплава. Для компенсации диаметрального размера при перетачивании блоки делаются составными (что хорошо видно на рис. 2.59, *г*).

Растачивание с целью обеспечения минимальной непрямолинейности канала (отклонения действительной оси канала от геометрической), также в случае необходимости вести растачивание с программируемой действительной осью, когда конструктору необходимо иметь на каком-либо участке ствола определенную непрямолинейность, технологи пытаются решать при помощи так называемого управляемого растачивания.

Суть заключается в том, что положение вершины резца (которая образовывает поверхность канала) непрерывно контролируется относительно геометрической оси канала наперед заданной каким-либо методом, и положение этой вершины при необходимости корректируется. Наиболее часто такие схемы пытаются создать, когда опорной (геометрической) осью является луч лазера.

Одна из таких схем показана на рис. 2.60.

Схема работает следующим образом. Геометрическая ось растачиваемого канала задается лазером *1*. Пятно его луча попадает на четырехсекторный фотодиод, расположенный на оси расточной головки. При

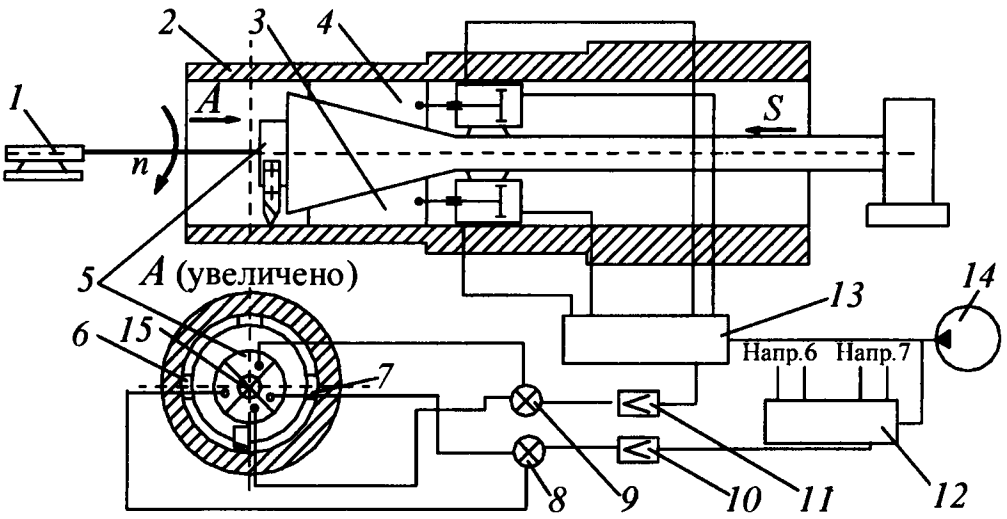


Рис. 2.60. Схема управляемого растачивания глубокого канала:
1 – газовый лазер; *2* – обрабатываемая деталь; *3*, *4*, *6*, *7* – регулируемые направляющие расточной головки; *5* – четырехсекторный фотодиод; *8*, *9* – сумматоры; *10*, *11* – усилители; *12*, *13* – электрогидрораспределители; *14* – насос

неравномерной засветке лучом секторов фотодиода, в сумматорах *8* и *9* выделяются электросигналы, которые усиливаются усилителями *10* и *11*. Усиленные сигналы заводятся в электрогидрораспределители *12*, *13*, которые в соответствии с сигналом подают жидкость под давлением в приводные цилиндры направляющих до тех пор, пока головка не совместит свой центр с центром пятна засветки. Это, конечно, весьма приблизительная схема и реализовать ее очень трудно, так как луч лазера при прохождении внутри канала детали будет искажаться как потоком СОЖ со стружкой, так и возмущением воздуха от горячей стружки, что приведет к большим погрешностям положения геометрической оси, заданной лучом.

Проводились работы, при которых фотодиод помещался внутрь головки и луч лазера проходил внутри борштанги.

Одна из таких головок управляемого растачивания показана на рис. 2.61.

Ранее было сказано, что заход расточных головок в заготовку производится чаще всего через кондукторную втулку. Но если необходимо провести растачивание, не имея кондукторной втулки, то заходное направление растачивается резцом (см. рис. 2.43).

Такие заходы делались в период Великой Отечественной Войны и некоторое время после нее. Могут представлять некоторый интерес режимы растачивания заходов таким методом в конкретных ствольных заготовках (табл. 2.25).

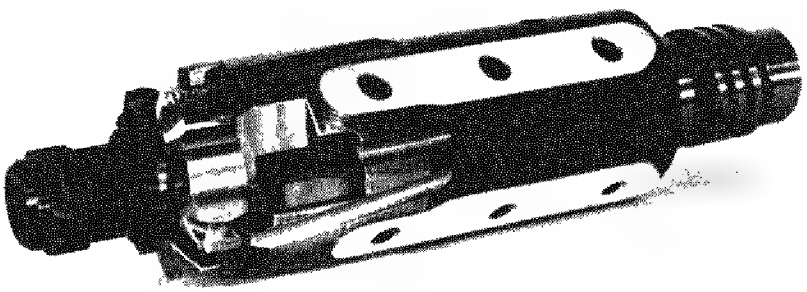


Рис. 2.61. Опытная головка управляемого растачивания глубоких каналов с четырехсекторным фотодиодом (внутри головки)

Изделие	Категория прочности, МПа	Вид растачивания	Диаметр канала, мм	Длина заходного отверстия, мм	Глубина резания, мм	Число проходов	Подача, мм/об	Скорость резания, м/мин	Число оборотов шпинделя, об/мин
ЗИС-2	О-800	Получистовое	56,15	150	1,07	1	0,2	4,6	26
С-60	О-800	Получистовое	56,15	–	1,07	1	0,21	12,1	68,4
ЗИФ-67	О-850	Получистовое	75,15	100	1,32	–	–	–	–
2А-20	О-1000	Черновое	104,8	160	4,9	2	0,40	50	152
		Получистовое	113,8	160	4,4	1	0,38	52,5	152
		Чистовое	115,0	160	0,6	1	0,4	55	152
2А-17	О-1000	Черновое	112,0	250	6	2	0,3	47,5	140
		Получистовое	120,65	250	4,32	3	0,22	59	158
		Чистовое	121,7	250	0,5	2	0,22	59,5	156
М-46	О-800	Черновое	118,8	180	6,9	3	0,4	40	107
		Получистовое	128,7	150	4,9	2	0,3	43	107
		Чистовое	129,7	200	0,5	2	0,3	43,5	107

2.7.5. Режимы растачивания, затраты времени

Собственно режимы растачивания приведены в табл. 2.26.

Режимы растачивания плавающими блоками указаны для последних проходов. Величины подачи или скорости на предварительных проходах иногда уменьшают в 1,5 раза, но в большинстве рассмотренных техпроцессах растачивание блоками ведется на постоянных скоростях и подачах. Глубины резания на окончательных проходах выбираются в 1,5... 2 раза меньшими, чем при предварительных проходах.

2.26. Режимы растачивания каналов ствольных труб

Изделие	Категория прочности, МПа	Вид растачивания	Диаметр канала, мм	Глубина канала, мм	Суммарная глубина резания, мм	Число проходов
ЗИС-2	О-800	Получистовое	56,15	3975	1,07	1
		Чистовое	56,83		0,34	3
С-60	О-800	Получистовое	56,15	4135	1,07	1
		Чистовое	56,83		0,34	3
ЗИФ-67	О-850	Черновое	72,5	4530	1,00	1
		Получистовое	75,15		1,32	1
		Чистовое	76,10		0,55	4
2А-20	О-1000	Черновое	105^{+1}	5750	4,5	1
		Получистовое	$113^{+0,2}$		4,4	1
		Чистовое	$115^{+0,03}$		0,6	3
2А-17	О-1000	Черновое	112,0	5400	6,0	1
		Получистовое	120,65		4,32	1
		Чистовое	121,7		0,5	2
М-46	О-800	Черновое	118,0	6900	6,5	1
		Получистовое	128,7		5,35	1
		Чистовое	129,85		0,57	4

Продолжение табл. 2.26

Изделие	Подача инструмента			v, м/мин	n_{Σ}, об/мин	Вид инструмента	Материал режущей части инструмента	Примечания
	S_o, мм/об	$S_м$, мм/мин	$S_ч$, мм/ч					
ЗИС-2	0,9	27	1620	5,3	30	Блок	–	
	1,3	685	41000	94	525	Блок	–	
С-60	0,76	52	3120	12,1	68,4	Блок	–	
	2,1	1100	66000	94	525	Блок	–	
ЗИФ-67	–	–	–	–	–	–	–	
	–	–	–	–	–	–	–	
		–	–	–	–	–	–	
2А-20	0,4	61	3660	50	152	Головка	ТТ10К8Б	Одна операция
	0,6	91	5460	55	152	Головка	ТТ10К8Б	
	1,6	480	28800	109	300	Блок	Т15К6	
2А-17	0,23	27	1620	42	120	Головка	Т15К6	Одна операция
	0,34	53,3	3200	60	156	Головка		
	1,37	213	12800	60	156	Блок		
М-46	0,4	43	2570	40	107	Головка	Т15К6	Одна операция
	0,3	32	1920	43	107	Головка		
	4,0	428	25700	44	107	Блок		

Режимы растачивания глубоких каналов в применяемых на Западе сталях даны в табл. 2.27.

2.27. Рекомендуемые режимы растачивания глубоких каналов в зарубежных сталях

Параметры обработки	Материал изделия					
	Углеродистые стали, $\sigma_в$ = 630…850 Н/мм^2 типа St 35.11; St 60.11			Легированные стали $\sigma_в$ = 700…1300 Н/мм^2 типа 40Mn4; 42CrV6; 36CrNiMo4		
	Диаметр растачиваемого отверстия, мм					
	30	60	100	30	60	100
Скорость резания, м/мин	120	120	120	120	120	100
Подача:						
$S_о$, мм/об	0,07	0,18	0,3	0,07	0,18	0,13
$S_{мин}$, мм/мин	88	112	115	88	115	42
$S_{час}$, мм/ч	5280	6720	6900	5280	6900	2520
Расход СОЖ, л/мин	120	220	>220	120	150	>150
Давление СОЖ, МПа	0,5...1	0,5... 0,8	0,4... 0,8	0,5...1	0,4... 0,8	0,2... 0,4
Температура СОЖ, °С	–	70	–	–	70	–
Стойкость инструмента до переточки, м	–	12	–	–	12	–
Полная стойкость инструмента, м	–	96	–	–	72…96	–

Продолжение табл. 2.27

Параметры обработки	Материал изделия					
	Легированные стали $\sigma_в$=800...1300 Н/мм^2 типа СК10, 41Cr4, 34CrMo4			Легированные стали $\sigma_в$=600...1450 Н/мм^2 типа 30CrNiMo8, 40CrMoV21, 36NiCrMoV7		
	Диаметр растачиваемого отверстия, мм					
	30	60	100	30	60	100
Скорость резания, м/мин	105	112	100	110	112	100
Подача:						
$S_о$, мм/об	0,12	0,17	>0,3	0,1	0,17	0,3
$S_{мин}$, мм/мин	132	102	>97	118	102	97
$S_{час}$, мм/ч	7920	6120	>5800	7080	6120	5820
Расход СОЖ, л/мин	120	150	>150	120	150	>150
Давление СОЖ, МПа	0,5... 1	0,4... 0,8	0,2... 0,8	0,5... 1	0,4... 0,8	0,2... 0,4
Температура СОЖ, °С	–	70	–	–	70	–
Стойкость инструмента до переточки, м	–	12	–	–	8...13	–
Полная стойкость инструмента, м	–	72...96	–	–	48...104	–

Представляет некоторый интерес уровень производительности растачивания зарубежными технологами.

В качестве СОЖ при растачивании каналов применяются те же жидкости, те же маслостанции, что и на станках для глубокого сверления. Типовые составы СОЖ и некоторые агрегаты для очистки ее и подачи к режущим кромкам будут разобраны несколько позже. Следует только отметить, что очистка СОЖ для операции растачивания должна быть произведена более тщательно, чем для операции сверления.

Анализ затрат времени на растачивание глубоких каналов проведен по реальным технологическим процессам.

В табл. 2.28 приведены затраты времени на установку, выверку и закрепления ствольных заготовок перед растачиванием.

2.28. Затрата времени на установку, выверку и закрепление ствольных заготовок перед растачиванием ствола

Вид растачивания	Нормативы времени	Система (изделие)				
		ЗИС-2	С-60	2А-20	2А-17	М-46
Черновое	Т′, мин	–	–	10	–	25
	$T_{шт}$, мин	–	–	138	–	254
	$T'/T_{шт}$,%	–	–	7,2	–	10
Получистовое	Т′, мин	–	20	–	–	–
	$T_{шт}$, мин	–	120	–	–	–
	$T'/T_{шт}$,%	–	16,5	–	–	–
Чистовое	Т′, мин	30	26	15	18	30
	$T_{шт}$, мин	75	51	174	280	478
	$T'/T_{шт}$, %	40	51	8,5	6,5	6,3

Примечания: 1. Т′ – время установки, выверки, закрепления заготовки на соответствующей операции, $T_{шт}$ – штучное время этой операции.

2. Для систем 2А-20, 2А-17 и М-46 получистовое и чистовое растачивания совмещены.

В табл. 2.29 указаны затраты времени на растачивание канала и вспомогательное время для каждого вида растачивания.

2.29. Затраты времени на растачивание каналов ствольных труб

Изделие	Вид растачивания	$T_{маш.кан.}$, мин	$T_{всп.кан.}$, мин
ЗИС-2	Черновое	–	–
	Получистовое	143	–
	Чистовое	20,6	20
С-60	Черновое	–	–
	Получистовое	78,5	8
	Чистовое	13,5	9
2А-20	Черновое	95	5
	Получистовое	64	3
	Чистовое	37	13
2А-17	Черновое	202	19
	Получистовое	106	5
	Чистовое	69	19
М-46	Черновое	163	13
	Получистовое	218	10
	Чистовое	81,5	30

Примечание. $T_{маш.кан.}$ – машинное время растачивания канала, $T_{всп.кан.}$ – вспомогательное время растачивания канала.

2.7.6. Подача СОЖ

В качестве СОЖ при растачивании каналов применяются те же жидкости, что и на станках для глубокого сверления.

Смазывающе-охлаждающие жидкости (СОЖ), применяемые при глубоком сверлении и растачивании, должны выполнять ряд важных задач:

– способствовать образованию стружки (в виде ленты или элементов) определенных размеров и надежно транспортировать ее из глубокого канала;

– интенсивно охлаждать режущие кромки (рабочие элементы) инструментов;

– охлаждать обрабатываемую деталь, поддерживая ее температуру в достаточно узком диапазоне;

– предотвращать износ режущих лезвий за счет образования смазывающе-разделительных пленок;

– предотвращать образование наростов на режущих кромках инструментов и на направляющих элементах инструментов;

– снижать трение между направляющими инструмента и поверхностью канала;

– сохранять свои химические и механические свойства неизменными в течение значительного времени.

Эти требования выполняются за счет присадок к минеральному маслу, которое является основой СОЖ.

СОЖ для сверления и растачивания каналов ствольных труб, наиболее часто применяемые на заводах, даны в табл. 2.30.

2.30. Марки СОЖ и содержащиеся в них присадки

Параметры СОЖ	Типы СОЖ			
	МР-1у	МР-2у	МР-4	МР-6
Содержание присадок:				
сера	0,7...1,5	0,2...0,5	–	0,5...1,0
хлор	1,0...1,6	1,74	15...18	11,0...15,0
фосфор	–	0,17	–	–
Вязкость кинематическая (при 50 °С), $мм^2/с$	18...24	25...27	4...10	20...30
Плотность при 20 °С, $кг/м^3$	800...930	850...950	900...1000	920...1000
Температура вспышки, °С	170	180	120	180

В СОЖ не допускается попадание воды. При наличии в СОЖ воды стойкость режущих кромок падает из-за разного охлаждающего воздействия масла и воды.

Стойкость режущих кромок также снижает наличие в СОЖ пузырьков воздуха. При попадании такого пузырька на режущую кромку она, в этом месте, повышает свою температуру. При удалении пузырька потоком

СОЖ, это место резко охлаждается, образуются микротрещины, а затем ее выкрашивание.

Для удаления воздуха из СОЖ после ее выхода из канала на станках предусматриваются широкие и длинные сливные лотки.

Когда СОЖ стекает по этому лотку в бак, происходит так называемая деаэрация. Кроме того, удалению пузырьков способствует и относительно большая площадь поверхности бака.

Циркуляция СОЖ при работе станка понятна из рис. 2.64.

Схема приведена для сверления, но она также применяется и для растачивания с некоторой перестановкой стружкосборника.

Для надежного вымывания стружки и энергичного отбора тепла от режущих кромок и детали, СОЖ подается в обрабатываемое отверстие весьма интенсивно. Существуют как эмпирические, так и теоретические соотношения между скоростью потока (расходом) и давлением СОЖ в зависимости от диаметра, глубины отверстия [2].

Одна из главнейших задач СОЖ при обработке глубоких каналов – транспортировка стружки из зоны обработки.

Выполнение этой задачи зависит от формы стружки: сливной ленточной, сливной гофрированной или элементной.

Для транспортировки каждого из видов стружки необходима своя скорость потока СОЖ. Например, ленточная стружка не должна иметь возможности при транспортировке упереться в стенки стружкоотводящего канала, чтобы не образовать пробку, а элементная из тех же соображений не должна оседать на дно этого канала.

Очевидно, что необходимая скорость потока напрямую определяется ее расходом – $Q_{сож}$ (л/мин).

В качестве простейшей зависимости по выбору $Q_{сож}$ можно привести следующую: $Q_{сож} = K \cdot d$, где d – диаметр обрабатываемого отверстия, а K – коэффициент, равный 1...7 [2].

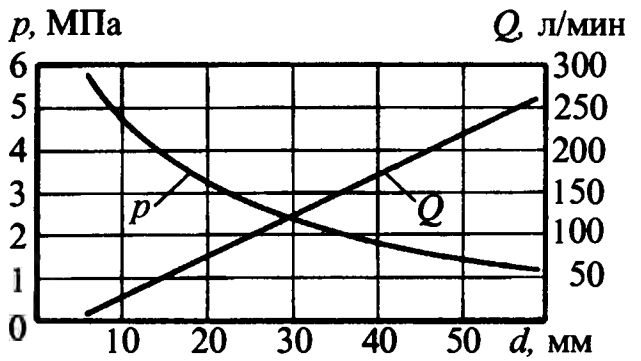


Рис. 2.62. Номограмма по выбору давления p и расхода Q при сплошном сверлении глубоких каналов

Рекомендуется выбирать скорость потока СОЖ равную 1 м/с (для отверстий диаметрами 30...60 мм) или по соотношению:

$$v_{сож} = (2...10)\, v_{стр},$$

где $v_{сож}$ – скорость протекания жидкости у режущей кромки, а $v_{стр}$ – скорость схода стружки (она же скорость резания).

Существуют и более сложные зависимости выбора $Q_{сож}$ [2].

Давление и расход СОЖ, естественно, будут зависеть от диаметра обрабатываемого канала, так как он обусловливает проходное сечение для жидкости. Назначение этих параметров часто производится по таблицам или номограммам, что даже и удобнее.

На рис. 2. 62 и 2.63 даны номограммы по выбору давления и расхода СОЖ для операций, соответственно, сверления и растачивания глубоких каналов, рекомендованные проспектами фирмы Heller. Здесь по осям даны давления p и расход Q в зависимости от обрабатываемого канала.

Значительное влияние на качество поверхности обрабатываемого канала (шероховатость), на стойкость режущей части и направляющих инструмента, производительность сверления, работоспособность насосных агрегатов оказывает степень очистки СОЖ от посторонних механических примесей как металлических (мелких кусочков стружки), так и абразивных из атмосферы заводского цеха. Зарубежные фирмы большое внимание уделяют тонкой фильтрации СОЖ. Для этого применяются металлические сетчатые фильтры с необходимой величиной ячеек, текстильные, картонные. На наших заводах в большинстве случаев употребляются сетки в тележках-стружкосборниках *13* (рис. 2.64) с ячейками для задержания только крупной стружки. Мелкие частицы вместе с потоком отработанной СОЖ стекают в бак.

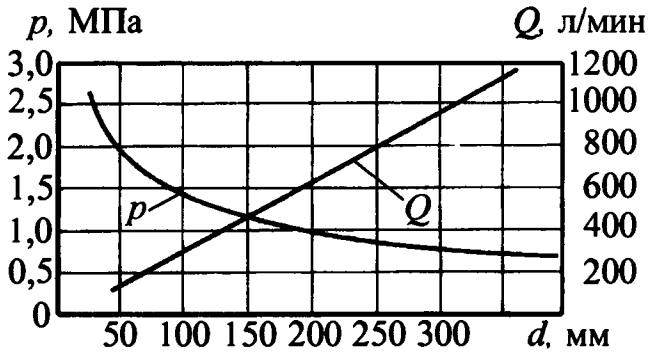


Рис. 2.63. Номограмма по выбору давления p и расхода Q при растачивании глубоких каналов

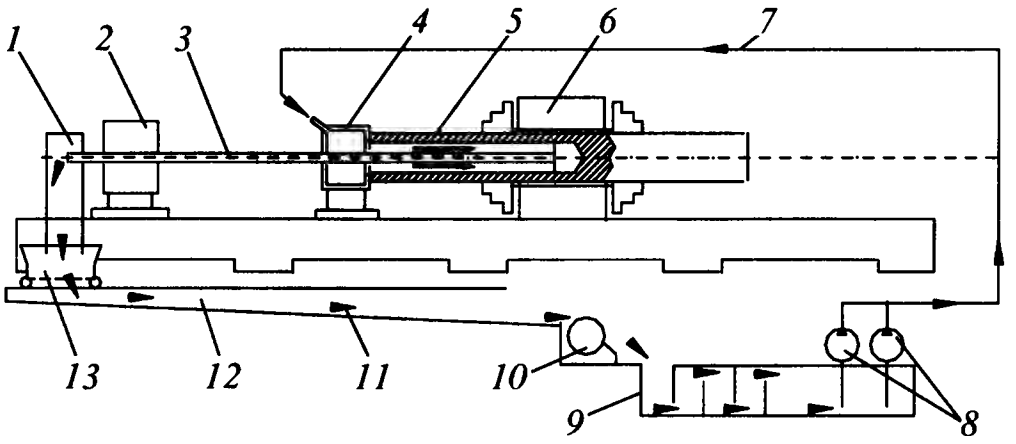


Рис. 2.64. Схема циркуляции СОЖ при сверлении глубоких каналов:
1 – кожух стружкоприемника; *2* – суппортная бабка; *3* – борштанга; *4* – маслоприемник; *5* – обрабатываемая деталь; *6* – шпиндельная бабка; *7* – подводящий трубопровод; *8* – насосы; *9* – бак СОЖ; *10* – магнитный барабан; *11* – поток сливающейся СОЖ; *12* – лоток слива; *13* – тележка-стружкосборник

Перед сливом они проходят мимо магнитного барабана *10*, и магнитные частицы оседают на нем. Немагнитные проходят в бак.

Здесь они в какой-то степени оседают на дне бака благодаря переливанию СОЖ из одной секции бака в другую. Особенно важно, что частицы проходят в соседнюю секцию под уровнем жидкости, смачиваются и оседают.

На рис. 2.65 показана конструкция бака СОЖ. Здесь видны отсеки бака, сетчатые фильтры и путь движения СОЖ от слива до забора насосом чистой жидкости.

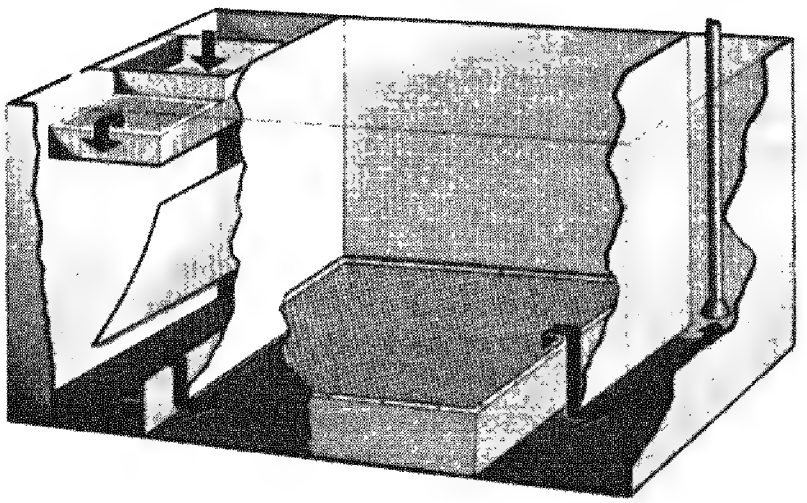
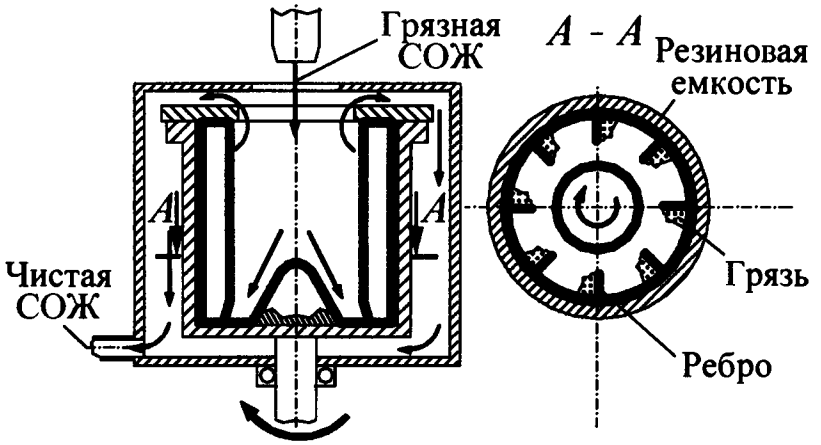


Рис. 2.65. Конструкция околостаночного бака для СОЖ



2.66. Схема центрифуги для очистки СОЖ

Однако, такая очистка не является абсолютной. Для работы направляющих сверл без воздействия на них частиц грязи необходима очистка жидкости от частиц, с диаметром ≤ 0,037 мм.

Это толщина масляной пленки от СОЖ на направляющих инструментов, и такие частицы будут влиять на работу направляющих.

Тонкая очистка СОЖ также влияет и на стойкость кондукторных втулок. При фильтрации СОЖ до частиц порядка 0,005 мм кондукторные втулки служат в 10 раз дольше.

Но такая тонкая очистка требует очень больших затрат на фильтрующие агрегаты. Сейчас зарубежные фирмы на рядовых заводах применяют агрегаты для очистки СОЖ при помощи центрифуг (рис. 2.66).

Устройство центрифуг чрезвычайно простое. Цилиндр с верхней крышкой в виде кольца посажен на вертикальный вал и смонтирован в баке. Вал проходит через дно бака с уплотнением и приводится во вращение электродвигателем (на схеме не показан). В цилиндр вставлена резиновая емкость с несколькими ребрами. СОЖ после выхода из канала детали подается сверху во вращающийся цилиндр и ребрами увлекается во вращение вместе с цилиндром. Частицы грязи в жидкости центробежной силой отбрасываются к стенкам цилиндра и более или менее равномерно распределяются между ребрами. При наполнении грязью пространства между ребрами, резиновая емкость заменяется на пустую. Очевидно, что такой агрегат достаточно оперативно восстанавливает свою работоспособность.

Степень очистки СОЖ центрифугами составляет 0,01 мм.

В зависимости от потребного расхода СОЖ агрегаты с центрифугами могут объединяться. В табл. 2.31 приведены технические данные одно- и двухроторного агрегатов.

2.31. Технические характеристики агрегатов очистки СОЖ

Технические характеристики	Одноротор ный агрегат	Двухроторный агрегат
Габариты, мм:		
ширина	610	965
длина	1016	2133
высота	787	813
Емкость бака, л	114	567
Масса агрегата, кг	193	345
Мощность привода ротора, кВт	1,1	2,2
Производительность очистки, л/мин:		
эмульсия масляная с вязкостью 1,85 градусов Энглера при 20 °С	91	182
масло минеральное с присадками с вязкостью 20 градусов Энглера при 20 °С	57	114

Очевидно, что при обработке на станке каналов разных диаметров и глубин необходимо менять расход и давление СОЖ.

Поэтому, насосные агрегаты часто состоят из нескольких насосов, которые работают отдельно или вместе по мере необходимости, или применяются насосы переменной производительности.

Датчиками давления СОЖ служат манометры, оснащаемые электроконтактными устройствами аварийного выключения станка.

Некоторые зарубежные станки имеют манометры как на входе жидкости в маслоприемник, так и на выходе ее из борштанги.

Это позволяет следить за надежной транспортировкой стружки из зоны обработки. Для уменьшения гидравлических потерь при подаче СОЖ в маслоприемник рекомендуется в подводящей магистрали делать как можно меньше поворотов.

Рядом проведенных исследований показано, что стойкость инструментов, производительность обработки, форма получаемой стружки, точ-

ность обработанного отверстия зависят от температуры СОЖ. Общая рекомендация: работу вести при минимально возможной температуре СОЖ.

При обработке глубоких каналов, СОЖ нагревается от самого процесса резания, а также от нагретой стружки и от нагретой детали.

Температура СОЖ влияет даже на величину стружки. Так, увеличение температуры с 30 до 35 °С приводило к увеличению завитка стружки. Реально считается удовлетворительной температурой СОЖ порядка 40...50 °С. Постоянство температуры поддерживается водяными теплообменниками. Рекомендуется перед началом сверления прокачивать СОЖ по магистрали вхолостую для нагрева ее до рабочей температуры. Это делается с целью повышения точности обработки каналов. В случае начала сверления с холодной СОЖ окончание сверления (при получении глубоких каналов оно длится десятки или даже сотни минут) будет происходить при повышенной температуре СОЖ.

Следовательно, обрабатываемая деталь будет расширяться неодинаково. После остывания детали канал в начале будет иметь больший диаметр, чем в конце. Опасно также удлинение детали в процессе обработки, что воспринимается в станках, во избежание поломки, специальными сильными пружинными компенсаторами.

Для контроля температуры СОЖ ставятся термопары на входе жидкости в деталь и выходе ее из борштанги. По показаниям этих термопар оператор может судить о характере процесса резания.

Исходя из многолетнего опыта работы, большинство авторов предлагает объем баков выбирать равным десятикратному минутному расходу. Это условие позволяет удовлетворительно отнять у СОЖ излишнюю теплоту, выйти пузырькам воздуха из жидкости и даже осесть крупным частицам загрязнений на дно.

2.7.7. Станки для сверления и растачивания ствольных труб

Для сверления и растачивания ствольных труб применяются одни и те же станки. Ведущим разработчиком и изготовителем таких станков в России является Акционерное общество «Рязанский станкостроительный завод».

Завод разработал ряд модулей, из которых выпускает четыре варианта компоновки станков (рис. 2.67).

Вариант I. Станок токарного типа с возможностью вращения детали (главное движение) и подачей инструмента. Такой вариант позволяет сверлить и растачивать детали при их вращении.

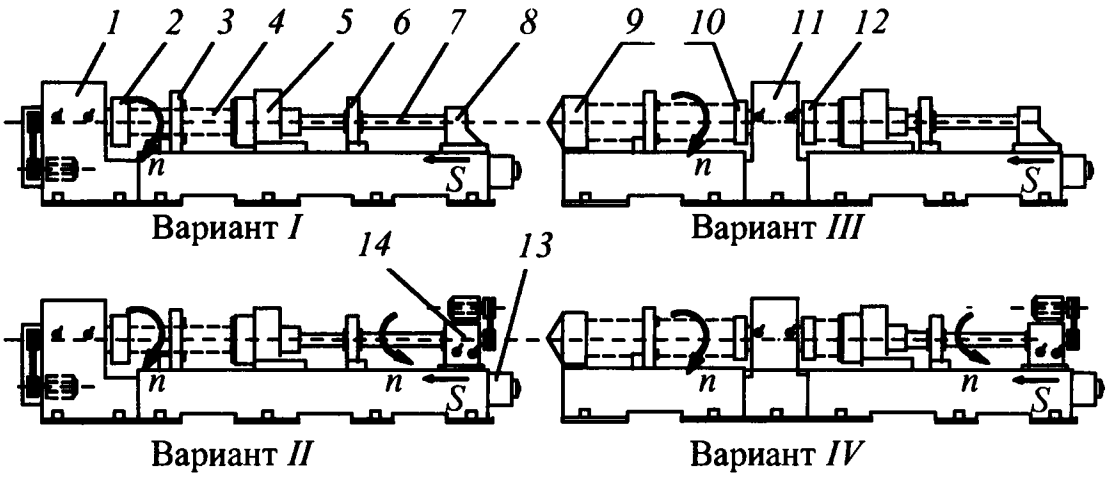


Рис. 2.67. Варианты компоновок станков для сверления и растачивания каналов ствольных труб Рязанского станкостроительного завода: *1* – шпиндельная бабка токарного типа; *2* – патрон для закрепления детали; *3* – люнет детали; *4* – обрабатываемая деталь; *5* – маслоприемник; *6* – люнет борштанги; *7* – борштанга; *8* – каретка (суппорт) подачи; *9* – стружкоприемник; *10* – планшайба для закрепления детали вертлюжная; *11* – вертлюжная шпиндельная бабка; *12* – вторая вертлюжная планшайба для закрепления детали; *13* – привод подачи; *14* – шпиндельная бабка привода вращения инструмента

Имеет жесткие опоры шпинделя, может вращать деталь с высокими оборотами, если детали достаточно симметричные.

Борштанга с инструментом в этом варианте не вращаются.

Вариант II. Та же компоновка, что и у *варианта I*, с добавлением шпиндельной бабки для вращения борштанги с инструментом. Позволяет относительно медленно вращать тяжелую и не всегда симметричную деталь, но за счет противовращения борштанги с инструментом позволяет обеспечить оптимальную скорость резания.

Вариант III. Компоновка вертлюжная. Обрабатываемая деталь проходит через шпиндель с большим внутренним отверстием и крепится одной или двумя планшайбами с зажимными кулачками. Позволяет несколько сократить общую длину станка, но при большом диаметре шпиндельных подшипников имеет меньшую жесткость шпиндельного узла и невозможность развивать большие обороты детали для получения желательной скорости резания. Рабочая подача инструмента производится кареткой (суппортом).

Вариант IV. К возможностям *варианта II* добавляется возможность вращения борштанги с инструментом благодаря шпиндельной бабке, установленной на каретке (суппорте) подачи.

Основные технические данные приведенных вариантов из набора модулей приведены в табл. 2.32.

2.32. Технические характеристики вариантов компоновок станков для обработки глубоких отверстий

Параметры	Базовая модель			
	2825П	2830П	2840П	2850П
Высота центров над направляющими, мм	315	400	500	630
Диаметр устанавливаемого изделия, мм:				
в патроне бабки изделия	50...320	80...400	100...500	160...630
в люнете роликовом	50...320	80...400	100...500	160...630
Диаметр обрабатываемых отверстий, мм:				
сверление в сплошном материале	40...80	40...80	125	125
при кольцевом сверлении	250	320	400	500
при растачивании	250	320	400	500
при раскатывании	250	320	400	500
Шпиндельная бабка изделия:				
пределы частот вращения, об/мин	40...500	40...500	16...250	16...250
мощность электродвигателя, кВт	20/28	20/28	55	55
максимальный крутящий момент, Н·м	3000	3000	8000	8000
Шпиндельная бабка инструмента:				
пределы частот вращения, об/мин	100...630	100...630	80...500	80...500
мощность электродвигателя, кВт	30	30	55	55
максимальный крутящий момент, Н·м	2000	2000	5000	5000

Продолжение табл. 2.32

Параметры	Базовая модель			
	2825П	2830П	2840П	2850П
Привод подач:				
рабочая подача, мм/мин (бесступенчато)	5...3000	5...3000	5...3000	5...3000
ускоренный ход, мм/мин	5000	5000	5000	5000
наибольшее усилие подачи, Н	50000	50000	50000	50000
Производительность насосной станции подачи СОЖ, л/мин	300	500	640	1000
Наибольший вес обрабатываемого изделия, кг:				
с одним люнетом	3000	3000	5000	6000
с двумя люнетами	4000	4000	6500	7500
с тремя люнетами	5000	5000	8000	9000

Представляют интерес некоторые нормы точности станков для изготовления глубоких каналов (табл. 2.33).

Из таблицы следует, что станки токарного типа имеют более высокие показатели точности.

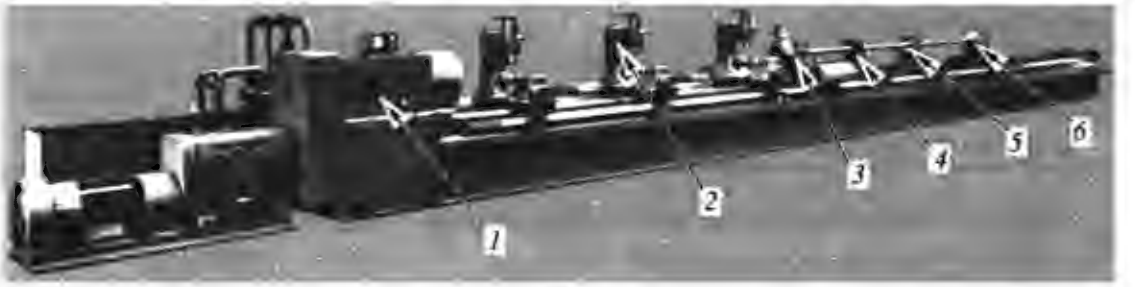
На рис. 2.68 показан внешний вид станков для обработки глубоких каналов токарного типа. На рис. 2.68, *а* хорошо видны основные рабочие узлы станка. Этот станок шпиндельной бабки вращения борштанги не имеет.

2.33. Нормы точности станков для обработки глубоких отверстий

Проверяемый параметр	Допуск, мкм, при высоте центров, мм	
	до 400	до 800
Отклонение от прямолинейности продольного перемещения подвижных узлов в горизонтальной и вертикальной плоскостях на длине перемещения, м:		
1	30	30
3	50	50
8	80	80
12	100	100
Свыше 12	125	125

Продолжение табл. 2.33

Проверяемый параметр	Допуск, мкм, при высоте центров, мм	
	до 400	до 800
Отклонение от параллельности оси шпинделя бабки изделия направляющим станины в вертикальной и горизонтальной плоскостях на длине 1 м:		
для станков токарного типа	35	40
для станков вертлюжного типа	50	60
То же, для шпинделя инструментальной бабки	35	40



а)

б)

в)

Рис. 2.68. Внешний вид станков для обработки глубоких каналов: *1* – передняя бабка; *2* – люнет детали; *3* – маслоприемник; *4* – люнет бортштанги; *5* – бортштанга; *6* – суппорт

Каждый такой станок комплектуется маслонасосной станцией для подачи СОЖ. Основные сведения об этих маслостанциях приведены в предыдущем параграфе. Баки и маслостанции практически всегда размещаются за станком, а баки даже ниже уровня пола цеха.

Для предохранения станков во время работы от поломок, они оснащаются различными устройствами: по осевой силе, крутящему моменту, температуре и давлению СОЖ, по степени затупления режущего инструмента.

2.8. Растачивание пологих конусов в кожухах ствольных труб

Некоторые ствольные трубы крупных калибров скрепляются в казенной части кожухами, длина которых достигает нескольких метров. Классическое скрепление таких стволов кожухами с цилиндрическим каналом требует уникального оборудования для нагрева кожухов и для их посадки на трубу. Поэтому у длинноствольных пушек крупного калибра применяют в качестве усиления казенной части трубы кожуха с пологими внутренними конусами, свободно посаженными на трубу.

Сборка такого ствола упрощается, но возникает некоторая трудность с изготовлением в кожухе пологого конуса. Этот конус получается растачиванием на тех же станках, что и для обычного растачивания, но они снабжены специальными инструментами и их приводами.

На рис. 2. 69 приведены три схемы растачивания таких конусов.

Работа устройства (см. рис. 2.69, *а*) происходит следующим образом: расточная головка с направляющими *3* заводится в канал кожуха *1*, кожуху дается вращение и головка силовой штангой *4* с подачей *S* начинает двигаться в канале (по схеме влево). Резец *7* при этом поворотом штанги *2* выведен на начальный размер будущего конуса. По мере входа головки в обрабатываемую деталь штанга *2* поворачивается, уменьшая вылет (рабочий радиус) резца. Угол поворота резца согласуется с положением расточной головки в канале, что обеспечивает необходимые размеры внутреннего полученного конуса. Процесс работы головки в этой схеме предусматривает изготовление конуса за один проход, так как для следующего прохода головка не может быть забазирована на расточенную поверхность конуса (направляющие головки могут работать только по цилиндрической поверхности вполне строгого диаметра).

Такую же особенность имеет расточная головка, показанная на рис. 2.69, *б*.

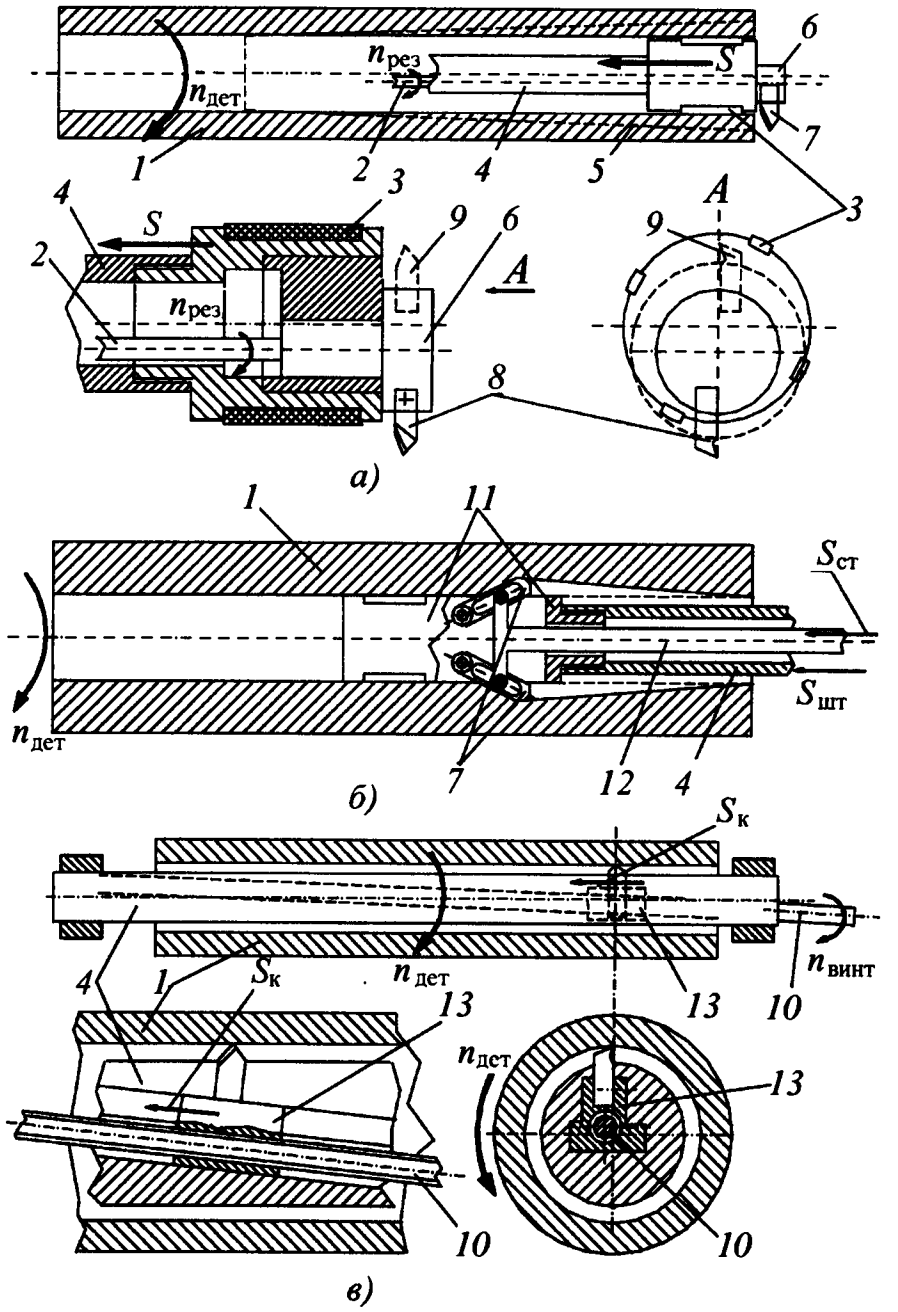


Рис. 2. 69. Схема растачивания пологих конусов в глубоких каналах: *а* – с применение поворотного резца; *б* – двухрезцовой головкой; *в* – резцовой кареткой с наклонными направляющими; *1*– обрабатываемая деталь; *2* – штанга поворота резца; *3* – направляющие расточной головки; *4* – силовая штанга; *5* – поверхность будущего конуса; *6* – резцедержатель; *7* – расточной резец; *8* – положение резца при максимальном диаметре расточки; *9* – нерабочее положение резца; *10* – ходовой винт; *11* – корпус расточной головки; *12* – стебель (штанга) подачи резцов на глубину резания; *13* – каретка с резцом

Здесь вращение также задается растачиваемому кожуху. Головка работает на сжатие, резцы на рабочий размер разводятся подачей стебля *12* вперед (по схеме влево) с таким же согласованием, как и в первой схеме, величин перемещений силовой штанги *4* и штанги подачи *12*.

Несколько иной принцип растачивания пологих конусов показан на рис. 2.69, *в*.

В канал обрабатываемой детали вводится жесткая штанга *4* с выполненным по всей ее длине направляющим пазом, имеющим наклон относительно оси штанги (и канала детали), необходимый для получения растачиваемого кожуха с нужной конусностью. По этому пазу при вращении ходового винта перемещается каретка *13* с резцом под углом, который соответствует конусу детали. Схема имеет недостаток: угол обрабатываемого конуса фиксированный. Преимуществом же схемы будет возможность производить растачивание не за один, а за несколько проходов.

2.9. Растачивание зарядных камор (патронников)

2.9.1. Формы камор, требования к точности и шероховатости поверхности камор после их растачивания

Каморы орудий средних калибров проектируются под гильзовое (унитарное или раздельное) заряжание. В общем случае каморы таких орудий с нарезными или гладкими каналами состоят из ряда конических поверхностей с различными высотами и конусностями. Количество конусов, в зависимости от вида канала, и их цифровое обозначение приведены на рис. 2.70. Конусы камор по сложившейся традиции носят следующие названия:

конус *1* – основной;

конус *2* – соединительный (упорный);

конус *3* – «цилиндрическая часть»;

конус *4* – передний конус;

конус *5* – конический скат (конус врезания).

Конусы *1* и *2* часто называют «большим патронником», а конусы *3*, *4*, *5* – «малым патронником».

Для систем унитарного заряжания конусы *4* и *5* объединяются.

Конус *3*, или «цилиндрическая часть», в ряде систем действительно выполняется цилиндрическим, но в большинстве случаев это очень пологий конус (с конусностью порядка 0,01).

Для гладкоствольных систем конструкция каморы несколько отличается от каморы нарезной системы (рис. 2.70, *б*). На этой схеме пропорции в размерах конусов нарушены.

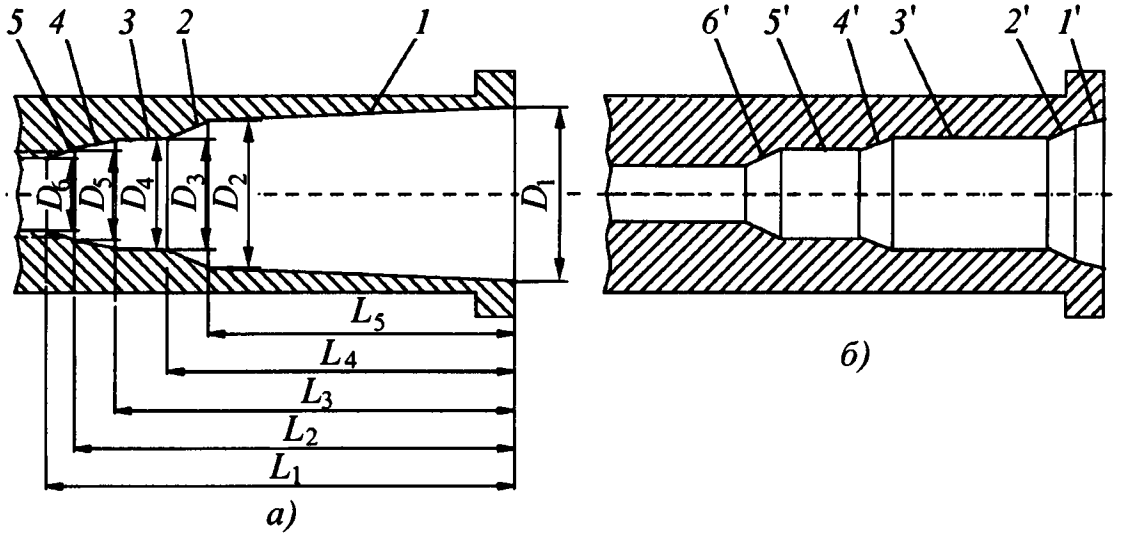


Рис. 2.70. Схемы конусов камор орудий среднего калибра:
а – для нарезных систем (1…5); *б* – для гладкоствольных систем (1′…6′)

Требования к шероховатости поверхности конусов камор после их растачивания (развертывания) у всех систем одинаковы: Ra = 2,5 мкм. Точность изготовления диаметральных размеров конусов выше, чем у линейных размеров.

Требования к конусам камор после растачивания (развертывания) даны в табл. 2.34. Обозначения L и D в таблице соответствуют рис. 2.70, *а*.

Как видно из таблицы, на большинство линейных размеров даже не задаются допуски. В технологических картах не оговорены условия точности их изготовления.

В изделиях 2А-17, С-60 точность изготовления элементов камор выше, чем у более ранних М-46, ЗИС-2.

Диаметральные размеры в большинстве случаев выполняются по квалитетам точности 10, а линейные – по 14…16.

2.34. Требования по точности изготовления конусов камор

Размер	Значение размера, мм/квалитет					
	Изделие					
	ЗИС-2	С-60	ЗИС-3	2А-20	2А-17	М-46
D_1	$\frac{84{,}25^{+0{,}15}}{\text{H11}}$	$\frac{92{,}4^{+0{,}1}}{\text{H10}}$	$\frac{84{,}25}{-}$	$\frac{162{,}8^{+0{,}15}}{\text{H10}}$	$\frac{162{,}8^{+0{,}05}}{\text{H8}}$	$\frac{175{,}4^{+0{,}15}}{\text{H10}}$
D_2	$\frac{78{,}56^{+0{,}15}}{\text{H11}}$	$\frac{86{,}9^{+0{,}1}}{\text{H10}}$	$\frac{79{,}63}{-}$	$\frac{153{,}4^{+0{,}15}}{\text{H10}}$	$\frac{157{,}25^{+0{,}05}}{\text{H8}}$	$\frac{167{,}8^{+0{,}15}}{\text{H10}}$

Продолжение табл. 2.34

Размер	Значение размера, мм/квалитет					
	Изделие					
	ЗИС-2	С-60	ЗИС-3	2А-20	2А-17	М-46
D_3	$\frac{60{,}0^{+0{,}1}}{\text{H10}}$	$\frac{61{,}5^{+0{,}1}}{\text{H10}}$	$\frac{78{,}78}{-}$	$\frac{120{,}66^{+0{,}15}}{\text{H10}}$	$\frac{135{,}9^{+0{,}05}}{\text{H8}}$	$\frac{147{,}5^{+0{,}15}}{\text{H10}}$
D_4	$\frac{59{,}4^{+0{,}1}}{\text{H10}}$	$\frac{60{,}9^{+0{,}1}}{\text{H10}}$	$\frac{78{,}28}{-}$	$\frac{119{,}36^{+0{,}15}}{\text{H10}}$	$\frac{135{,}9^{+0{,}05}}{\text{H8}}$	$\frac{147{,}0^{+0{,}15}}{\text{H10}}$
D_5	$\frac{-}{-}$	$\frac{-}{-}$	$\frac{-}{-}$	$\frac{-}{-}$	$\frac{123{,}0^{+0{,}05}}{\text{H8}}$	$\frac{131{,}8^{+0{,}15}}{\text{H10}}$
L_1	$\frac{400}{-}$	$\frac{251}{-}$	$\frac{325_{-5}}{\text{H16, H17}}$	$\frac{378}{-}$	$\frac{625{,}0}{-}$	$\frac{60{,}9^{+0{,}1}}{\text{H14}}$
L_2	$\frac{441}{-}$	$\frac{298{,}2}{-}$	$\frac{341_{-1{,}5}}{\text{H15}}$	$\frac{453}{-}$	$\frac{720{,}4}{-}$	$\frac{810^{+1{,}2}}{\text{H14}}$
L_3	$\frac{500}{-}$	$\frac{358}{-}$	$\frac{392_{-5}}{\text{H16, H17}}$	$\frac{725}{-}$	$\frac{820{,}85}{-}$	$\frac{874^{+1{,}2}}{\text{H17}}$
L_4	$\frac{523{,}1}{\text{H14}}$	$\frac{381{,}1}{-}$	$\frac{425{,}1}{\text{H14}}$	$\frac{740}{-}$	$\frac{930}{-}$	$\frac{1028^{+0{,}15}}{\text{H14}}$
L_5	$\frac{-}{-}$	$\frac{-}{-}$	$\frac{-}{-}$	$\frac{-}{-}$	$\frac{1002{,}2}{-}$	$\frac{1091^{+5{,}4}}{\text{H16}}$

2.9.2. Применяемые схемы растачивания камор

В производстве стволов средних калибров каморы в большинстве случаев растачиваются симметричными плавающими пластинами с рабочим профилем, соответствующим профилю растачиваемого участка каморы.

Схема такого растачивания (развертывания) показана на рис. 2.71.

Растачивание камор плавающими пластинами производится всегда в горизонтальном положении детали. Станки для растачивания камор могут применяться как специальные для этой операции, так и станки для

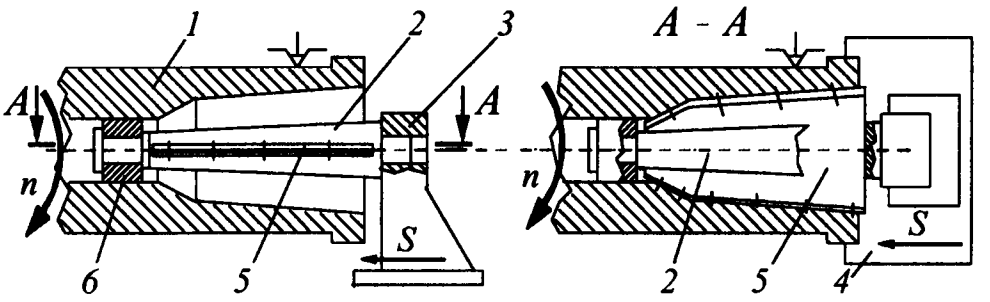


Рис. 2.71. Схема растачивания (развертывания) камор ствольных труб фасонными плавающими пластинами:

1 – обрабатываемая труба; *2* – штанга; *3* – кронштейн суппорта; *5* – режущая плавающая пластина; *6* – опора штанги

глубокого сверления. Чаще всего растачивание камор производится на станках вертлюжного типа. Технические характеристики специальных станков будут даны ниже.

Ствольная труба при растачивании базируется по наружной поверхности. Дульная часть опирается на люнет, а казенная крепится в четрехкулачковой планшайбе шпиндельной бабки. Четыре кулачка планшайбы позволяют закрепить деталь с допустимым биением. Проверка биения канала перед растачиванием каморы производится прибором, который используется и для растачивания канала (см. рис. 2.50).

Некоторые требования по выверке канала перед растачиванием каморы даны в табл. 2.35.

Очевидно, что для удовлетворения высоких требований к соосности канала и каморы в технологических картах операций по растачиванию камор необходимо предусматривать проверку биения оси канала относительно оси вращения станка. Такая проверка должна осуществляться не только в районе казенного среза, но и желательно ее производить на глубине будущей каморы. Как видно из табл. 2.35, величины несоосности должны составлять сотые доли миллиметра.

В табл. 2.36 приведены маршрутные схемы растачивания камор, производимые на разных заводах. Из таблицы видно, что заводы применяют свои, традиционно сложившиеся маршруты растачивания.

Из рассмотренных процессов растачивания камор можно предложить маршрут, как наиболее логичный:

1. Предварительное цилиндрическое или ступенчатое растачивание *1*-го и иногда *2*-го конусов;
2. Предварительное растачивание *1*-го и *2*-го конусов;
3. Предварительное растачивание *3*-го и *4*-го конусов;
4. Окончательное растачивание *3*-го, *4*-го и *5*-го конусов;
5. Окончательное растачивание *1*-го и *2*-го конусов.

2.35. Требования по точности установки ствольной трубы на станке перед растачивание каморы

Изделие	Выверяемая поверхность	Расстояние между выверяемой поверхностью и казенным торцем, мм	Допустимое биение, мм	
			у казны	у дула
ЗИФ-72	Наружная у казенного торца	–	0,03	–
2А-20	Канал у казенного торца, поясок у дула	780...270	0,06	0,2
2А-17	Канал у казенного торца	–	0,03	–
М-46	То же	100	0,1	–

2.36. Маршрутные техпроцессы растачивание камор

Изделие	Номер перехода	Переход
ЗИС-2	1	Цилиндр в *1*-м конусе
	2	Пять цилиндрических ступеней в *1*-м и *2*-м конусах
	3	*3*-й конус, предварительное растачивание
	4	*1*-й и *2*-й конусы, предварительное растачивание
	5	*3*-й и *4*-й конусы, окончательное растачивание
	6	*1*-й и *2*-й конусы, окончательное растачивание
С-60	1	Цилиндр в *1*-м конусе
	2	Пять цилиндрических ступеней в *1*-м и *2*-м конусах
	3	*3*-й и *4*-й конусы, предварительное растачивание
	4	*1*-й и *2*-й конусы, предварительное растачивание
	5	*3*-й и *4*-й конусы, окончательное растачивание
	6	*1*-й и *2*-й конусы, окончательное растачивание

Продолжение табл. 2.36

Изделие	Номер перехода	Переход
ЗИФ-72	1	*1*-й, *2*-й, *3*-й и *4*-й конусы, предварительное растачивание
	2	*1*-й и *2*-й конусы, окончательное растачивание
	3	*3*-й и *4*-й конусы, окончательное растачивание
	4	–
	5	–
	6	–
ЗИС-3	1	Пять цилиндрических ступеней в *1*-м и *2*-м конусах
	2	*3*-й и *4*-й конусы, предварительное растачивание
	3	*1*-й и *2*-й конусы, предварительное растачивание
	4	*3*-й и *4*-й конусы, окончательное растачивание
	5	*1*-й и *2*-й конусы, окончательное растачивание
	6	–
ЗИФ-67	1	Цилиндр в *1*-м конусе
	2	*1*-й, *2*-й, *3*-й и *4*-й конусы, предварительное растачивание
	3	*3*-й и *4*-й конусы, окончательное растачивание
	4	*1*-й и *2*-й конусы, окончательное растачивание
	5	–
2А-20	1	Цилиндр в *1*-м конусе
	2	*21*-й, *2*-й конусы, предварительное растачивание
	3	*1*-й и *2*-й конусы, окончательное растачивание
	4	*3*-й и *4*-й конусы, предварительное растачивание
	5	*3*-й и *4*-й конусы, окончательное растачивание
	6	–
2А-17	1	Первое половина *1*-го конуса, предварительное растачивание
	2	Первое половина *1*-го конуса, окончательное растачивание
	3	Второе половина *1*-го конуса, предварительное растачивание
	4	Второе половина *1*-го конуса, окончательное растачивание
	5	*2*-й конус, предварительное растачивание

Продолжение табл. 2.36

Изделие	Номер перехода	Переход
2А-17	6	*2*-й конус, окончательное растачивание
	7	*3*-й и *4*-й конусы, предварительное растачивание
	8	*3*-й и *4*-й конусы, окончательное растачивание
	9	*5*-й конус, окончательное растачивание
М-46	1	Цилиндр в *1*-м и *2*-м конусах
	2	Цилиндр в *1*-м конусе
	3	*1*-й конус, предварительное растачивание
	4	*1*-й и *2*-й конусы, окончательное растачивание
	5	*3*-й и *4*-й конусы, предварительное растачивание
	6	*3*-й, *4*-й и *5*-й конусы, окончательное растачивание

Кроме растачивания камор орудий средних калибров пластинами, велись работы по их растачиванию резцом, инструментом много проще плавающих пластин. Схем растачивания резцом опробовалось две: с гидравлическим копирным устройством и с программным управлением. Схема растачивания с гидравлическим копирным устройством приведена на рис. 2.72.

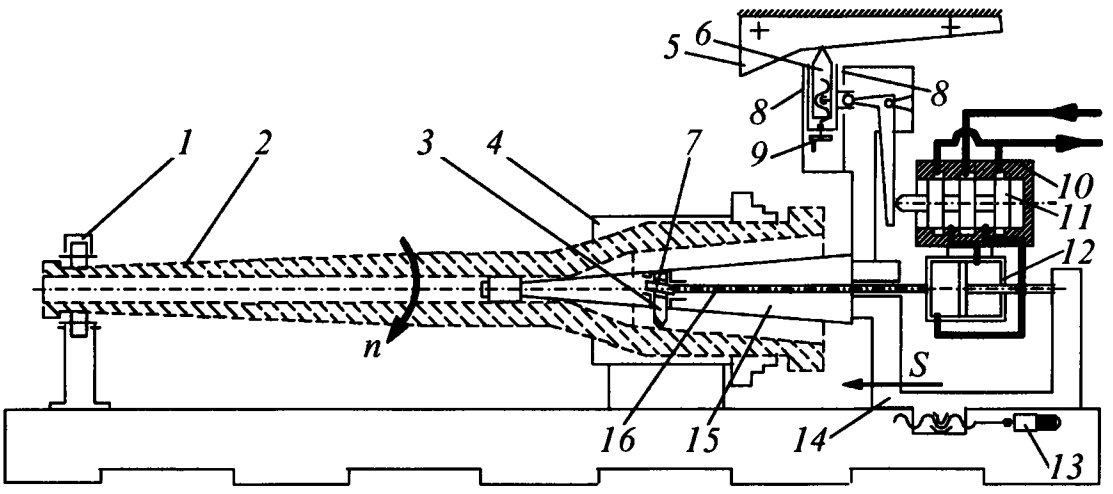


Рис. 2.72. Схема растачивания камор резцом при помощи гидравлического копирного устройства:

1 – люнет; *2* – обрабатываемая деталь; *3* – резец; *4* – шпиндельная бабка станка; *5* – копир; *6* – щуп; *7* – клиновая кулиса; *8* – ложемент щупа; *9* – настроечное устройство щупа; *10* – корпус золотника; *11* – золотник; *12* – силовой цилиндр; *13* – привод осевой подачи суппорта; *14* – суппорт; *15* – расточная штанга; *16* – шток

Схема работает следующим образом.

Расточная штанга *15*, закрепленная в суппорте станка *14*, опирается своим консольным концом на втулку, которая входит в канал заготовки. При перемещении суппорта *14* с рабочей (продольной) подачей щуп *6* следит за конфигурацией копира *5*.

Перемещения щупа передаются золотнику *11*, подающему масло под давлением в определенную полость силового цилиндра *12*, установленному на суппорте *14*. Шток этого цилиндра жестко соединен с суппортом, а корпус – со штоком *16*. Шток *16* на своем втором конце имеет клиновую кулису *7*, которая при осевом перемещении штока *16* перемещает резцедержатель с резцом *3* в радиальном направлении. Из схемы видно, что расточное устройство имеет жесткую обратную связь по перемещению между щупом *6* и резцом *3*. Слежение резца за положением щупа осуществляется корпусом золотника *10*, который жестко закреплен на суппорте. При заданном щупом *6* золотнику *11* перемещении открываются щели между кромками золотника и кромками корпуса золотника *10*. Масло от насосной станции под давлением поступает в соответствующую полость силового цилиндра и перемещает силовой цилиндр *12* со штоком *16* и резец *5*. Корпус золотника *10* (а, значит, и силовой цилиндр) перемещается до тех пор, пока образовавшиеся в корпусе золотника щели не перекроются и подача жидкости в силовой цилиндр не прекратится.

Такое устройство позволяет достаточно оперативно перенастраиваться с обработки одного типа изделия на другое (для этого меняется только копир и опорная втулка в канале трубы).

Станочные системы с числовым программным управлением для такой операции по компоновке, сложности агрегатов, габаритам, обслуживанию должны иметь преимущество перед разобранным устройством. Однако, растачивание камор на станках ЧПУ консольным резцом не обеспечивает необходимую точность. Очевидно, что работы в направлении растачивания камор именно резцами (как простейшими инструментами) на станках с ЧПУ необходимо продолжать.

2.9.3. Конструкции плавающих пластин для растачивания камор

На рис. 2.73 показаны конструкции плавающих пластин для растачивания камор стволов среднего (*а*) и малого калибра (*б*).

Корпус пластины *1* изготавливается из конструкционной стали, термообработанной до 32...38 HRC. Корпус имеет два радиально выполненных продольных паза с шириной по 5...8 мм с полем допуска H9 и

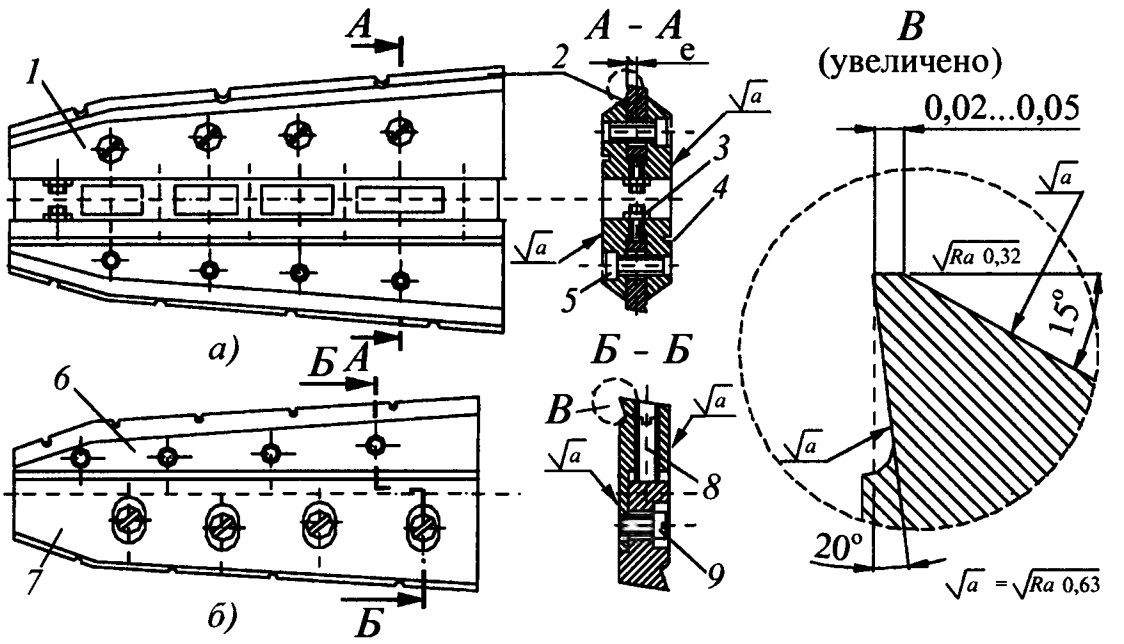


Рис. 2.73. Плавающие пластины для растачивания камор у стволов калибра: *а* – среднего; *б* – малого; *1* – корпус пластины; *2* – режущий элемент; *3* – регулировочный винт с контргайкой; *4* – продольный паз; *5* – болт крепежный; *6* – первая половина режущей пластины; *7* – вторая половина режущей пластины; *8* – регулировочный винт; *9* – крепежный болт

шероховатостью поверхности посадочных плоскостей *Ra* = 1,25 мкм. В эти пазы с посадкой H9/h8 вставлены режущие элементы – ножи *2*. Ножи изготавливаются из быстрорежущих сталей, предварительно механически обрабатываются, подвергаются термообработке, а затем вставляются в пазы корпуса и закрепляются болтами *5*. Винты *3* служат для опоры ножей в радиальном направлении, и на них действует при работе пластины достаточно большая сила. Затягиванием болтов *5* нейтрализовать эту силу не удается. Кроме того, винты *3* позволяют при переточке пластин дозировано выдвигать пластины ножей *2*.

Материал ножей – быстрорежущие стали типа Р18, Р18Ф2, термообработанные до 62...65 HRC, причем в технических требованиях на изготовление пластин оговаривается постановка на одну пластину ножей с одинаковой фактической твердостью.

При растачивании камор в трубах с категорией прочности О-120 – О-140 для ножей применяют сталь Р18Ф2К8М, позволяющую получить твердость ножей 63...67 HRC. При растачивании конусов большого патронника ножи делаются составными. Ножи из твердого сплава не используются, так как при работе возникают вибрации, и ножи выкрашиваются.

Окончательное затачивание и доведение ножей производится в собранном с корпусом состоянии. Непрямолинейность режущей кромки после затачивания проверяется калибром-линеалом по всей длине и в ряде конструкций пластин оговаривается ее величина – до 0,02 мм.

Для разделения стружки по ширине на режущих кромках ножей прошлифовываются в шахматном порядке (у противоположных ножей) канавки с шагом 20...40 мм. В точках контролируемых диаметров, отмечаемых на корпусе пластин рисками, стружкоделительные канавки не делаются.

Геометрия затачивания режущих кромок в большинстве конструкций следующая: передние углы γ =20°. Задние поверхности затачиваются по двум плоскостям: α_1 = 5° и α_2 = 15°. Точность выполнения углов затачивания ±1°. Вдоль главной режущей кромки по задней поверхности доводится на чугунной плите с пастой ГОИ ленточка, шириной 0,05...0,2 мм с $\alpha_{лент}$ = 0°. Шероховатость рабочих поверхностей режущих ножей выполняется в пределах *Ra* = 0,63...0,32 мкм.

Специально оговаривается несимметричность расположения противоположных точек режущих кромок относительно вертикального диаметра пластины (размер **е**). Разность расположения точек режущих кромок от вертикального диаметра не должна превышать 0,3 мм.

Действительные размеры передних и задних углов режущей части при работе будут несколько отличаться от углов, полученных при затачивании благодаря размеру **е**. Изменение этих углов при работе составляет 2...3,5° (γ уменьшается, а α увеличивается).

Жесткие требования по точности и шероховатости предъявляются поверхностям пластины, входящими в паз борштанги.

Боковые опорные поверхности пластин шлифуются до *Ra* = 0,63 мкм, а точность по толщине выдерживается в пределах f7, e8.

Неплоскостность опорных поверхностей корпуса проверяется на контрольной плите (щуп 0,03 мм не должен проходить между ними). Если учесть, что размеры корпусов пластин могут иметь размеры 600... 800 мм, то эти требования достаточно жесткие.

При изготовлении пластин особо оговариваются требования по точности и шероховатости переднего и заднего торцов корпуса.

Размер между этими торцами (достаточно большой – до метра) имеет допуски f7, e8, их шероховатость *Ra* = 0,63 мкм, а неперпендикулярность их к оси корпуса задается в 0,01...0,15 на 100 мм длины.

В случае растачивания камор ствольных труб малого калибра (57...76 мм) применяются пластины несколько другой конструкции

(см. рис. 2.74, *б*). У таких пластин отсутствует корпус, а ножи (*6* и *7*) выполняются целиком из быстрорежущей стали и соединяются между собой болтами *9*, а для регулировки по радиусу при перетачивании и для восприятия радиальных сил при резании предусмотрены винты 8.

Для растачивания камор пластины вставляются в пазы борштанги.

Принцип устройства борштанги дает рис. 2.74.

Конструкция борштанг достаточно проста. Сама штанга *2* делается из поковки или прутка из углеродистой (У7) или легированных сталей (38ХН2А, ОХН3М). Штанга термообрабатывается до 32...36 HRC. Правый (по схеме) конец борштанги крепится в суппорте станка. На этом конце врезана шпонка *4*, предохраняющая борштангу от проворота при работе, так как во время расточки на бортштангу действуют весьма большие крутящие моменты. Пазы для режущих пластин при установке на суппорт располагаются в горизонтальной плоскости для простоты установки тяжелой плавающей пластины в борштангу (при ином положении окна для пластин она будет стремиться к выпадению). Левый (по схеме) конец борштанги имеет бронзовую втулку *1*, которая входит в первоначальный канал по посадке D8/d8. На самой борштанге втулка сидит по посадке H7/h7.

Окна для пластин в борштанге изготавливаются с теми же требованиями, что и контактные поверхности пластин.

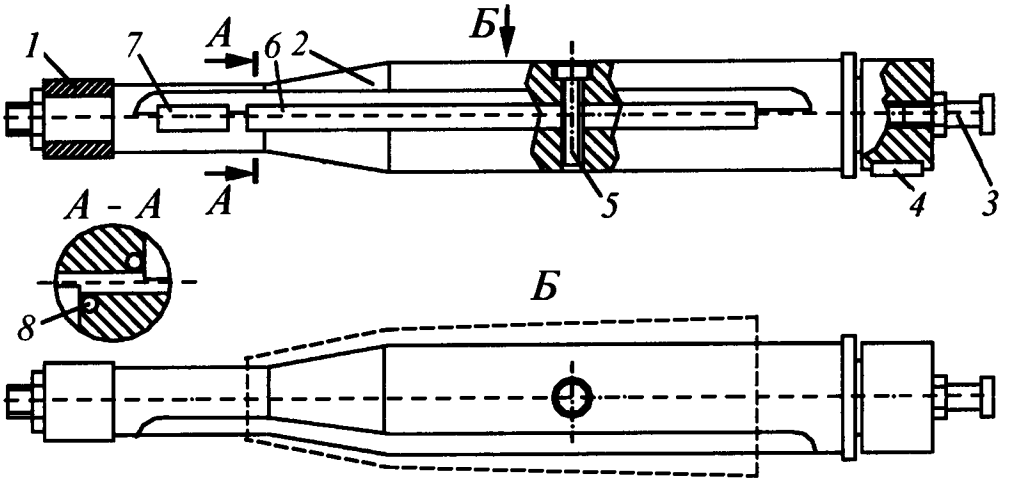


Рис. 2.74. Типовая конструкция борштанги для растачивания в ствольных трубах камор плавающими пластинами:

1 – опорная втулка; *2* – корпус борштанги; *3* – штуцер подачи СОЖ; *4* – шпонка; *5* – болт; *6,7* – пазы для плавающих пластин; *8* – трубки подачи СОЖ

Борштанги чаще всего имеют два окна: для пластин большого и малого патронников. Растачивание ведется с использованием какого-либо одного окна. Во второе окно в это время вставляется стальной вкладыш, у которого размеры и точностные требования соответствуют контактным поверхностям рабочих пластин. Для ужесточения борштанги во время работы завертывается болт *5*. Он же предохраняет пластину от случайного выпадения. Через штуцер *3* подается СОЖ, которая по трубкам *8* попадает на режущие кромки.

В качестве СОЖ при растачивании камор чаще всего применяют те же жидкости, что и при сверлении и растачивании каналов. В некоторых технологических процессах растачивания камор в СОЖ для улучшения шероховатости поверхности камор добавляют молотую серу, олеиновую кислоту. Олеиновая кислота – жидкость дорогая, но дающая хорошие результаты по стойкости инструмента и по качеству обработанной поверхности.

Стружка во время растачивания камор пластинами удаляется при периодическом выводе борштанги из обрабатываемого канала.

2.9.4. Режимы растачивания камор плавающими пластинами и затраты времени на растачивание

Режимы растачивания камор плавающими пластинами сведены в табл. 2.37.

Затраты времени на растачивание камор плавающими пластинами приведены в табл. 2.38.

Из табл. 2.38 видно, что время растачивания камор пластинами, особенно у систем больших калибров и высоких категорий прочности, значительны: 200...400 мин. При применении труб с более высокими категориями прочности время растачивания должно возрастать до 800...900 мин. Кроме того, как следует из рассмотренного выше, инструмент пластины весьма дорог. Очевидно, что в дальнейшем при производстве артсистем для растачивания камор необходимо применять растачивание твердосплавными резцами. Например, на рис. 2.75 показан вариант возможного растачивания каморы 130 мм пушки резцом за четыре прохода (три прохода с t_1= 6 мм и один проход с t_4 = 4,5мм). Общая длина рабочих проходов составляет порядка 3370 мм.

При скорости резания v = 60 м/мин число оборотов будет равно 110 об/мин. Если выбрать подачу S_o = 0,3 мм/об, то машинное время будет равняться $t_{маш}$ = 3370 / (0,3 × 110) = 102 мин, т.е. в два раза меньше, чем расточка пластиной.

2.37. Режимы растачивания камор плавающими пластинами

Изделие	Материал трубы	Категория прочности	Глубина резания, мм	Подача		Скорость резания, м/мин	Число оборотов детали, об/мин	Материал режущей пластины
				мм/об	мм/мин			
ЗИС-2	ОХН3М	О-800	1,0...9,5 **0,8...1,0**	0,4 **0,2...0,4**	6,4...26,5 **1,6...5**	9...9,5 **2,1...2,3**	16...66	Р9
С-60	ОХН3МФ	О-800	0,65... 13,5 **0,1**	0,3...0,65 **0,2**	3...32 **1,6**	1,4...14 **1,5...2,3**	10...50 **8**	Р9
ЗИФ-72	ОХН3МФ	О-900	2...16,5 **0,3...1,3**	0,45 **0,2...0,33**	14,5 **4,8...7,9**	9,2 **4,6...6,9**	32 **24**	Р18
ЗИС-3	ОХН1М	О-650	1,15...3,35 **0,15**	0,5...0,65 **0,4**	13...20 **6,4**	4,9...10,5 **4,0...5,2**	20...40 **16**	Р18
2А-20	ОХН3МФА	О-1000	2,68...17,5 **0,25**	0,5...0,7 **1,0**	7,7...9,8 **6,0**	5,3...7,2 **3...2,4**	14 **6**	Р18Ф2
2А-17	ОХН3МФА	О-1000	6,7...20 0,35...**0,65**	0,41...0,63 **0,38...0,63**	4,2...5,3 4,2... **8,9**	4,2...4,7 **5,5...6,0**	8,5...11 **11...14**	Р18
М-46	ОХН3МФА	О-800	4,3...9,0 **0,9...1,0**	0,7 **0,7**	12,6 **12,6**	6,5...8,2 **8,4...9,9**	18 18	Р18

Примечание. Выделенные цифры даны для окончательного растачивания.

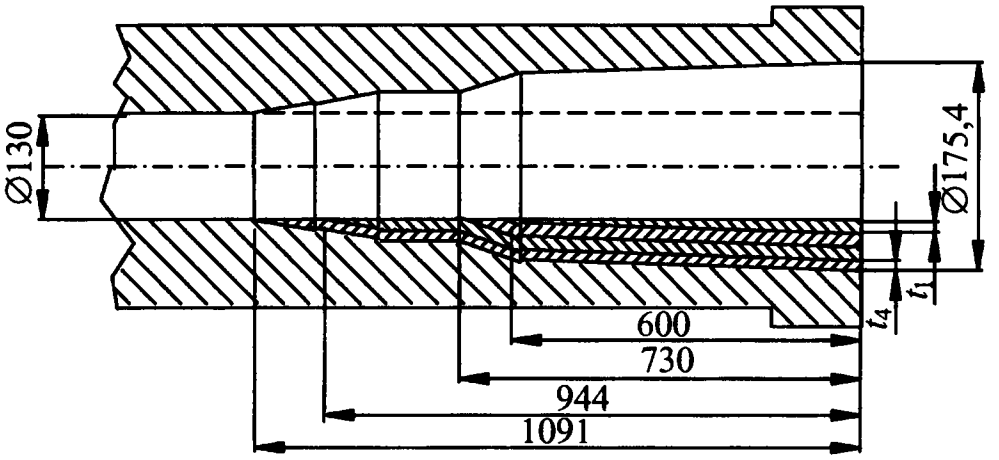


Рис. 2.75. Эскиз растачивания каморы 130 мм пушки резцом

2.38. Затраты времени на растачивание камор плавающими пластинами

Изделие	Калибр, мм	Категория прочности трубы	$T_{шт}$, мин	$T_{уст}$, мин	$T_{маш.предв}$, мин
С-60	57	О-800	–	15	84,2
ЗИФ-67	57	О-900	147	19,6	18,7
ЗИС-3	76	О-650	69,8	8,5	31,1
2А-20	115	О-1000	270	30	143,6
2А-17	122	О-1000	420	16	199,7
М-46	130	О-800	336	20	176,9

Изделие	$T_{маш.оконч}$, мин	$T_{маш}$, мин	$T_{уст}$ / $T_{шт}$, %	$T_{маш}$ / $T_{шт}$, %
С-60	42,4	126,6	–	–
ЗИФ-67	48,5	67,2	13,5	45,5
ЗИС-3	9,6	40,7	12,2	58,5
2А-20	44,1	187,7	10,7	69,5
2А-17	98,3	298	3,8	71,0
М-46	91,8	268,7	6,0	80,0

Примечание. $T_{маш.предв}$ – машинное время предварительного растачивания. $T_{маш.оконч}$ – машинное время окончательного растачивания. $T_{маш}$ – общее машинное время.

2.9.5. Станки для растачивания камор ствольных труб

Каморы ствольных труб могут растачиваться как на станках для глубокого сверления и растачивания каналов, так и на специальных станках для растачивания камор. Компоновка их, практически, такая же, как у сверлильных станков: горизонтальные станины с возможностью базировать на них длинномерные трубы; шпиндельная бабка, как правило, вертлюжного типа; системы подачи СОЖ (в борштангу и в дульную часть) и сбора стружки и суппорт с возможностью установки на нем штанги для крепления плавающих расточных фасонных пластин. Но, такие специальные станки имеют укороченный рабочий ход суппорта (рис. 2.76).

Проектировались станки для растачивания камор резцом и с системой ЧПУ.

Основные технические характеристики станков для растачивания пластинами (РТ602.09) и растачивания резцом (330Т/3-80) приведены в табл. 2.39.

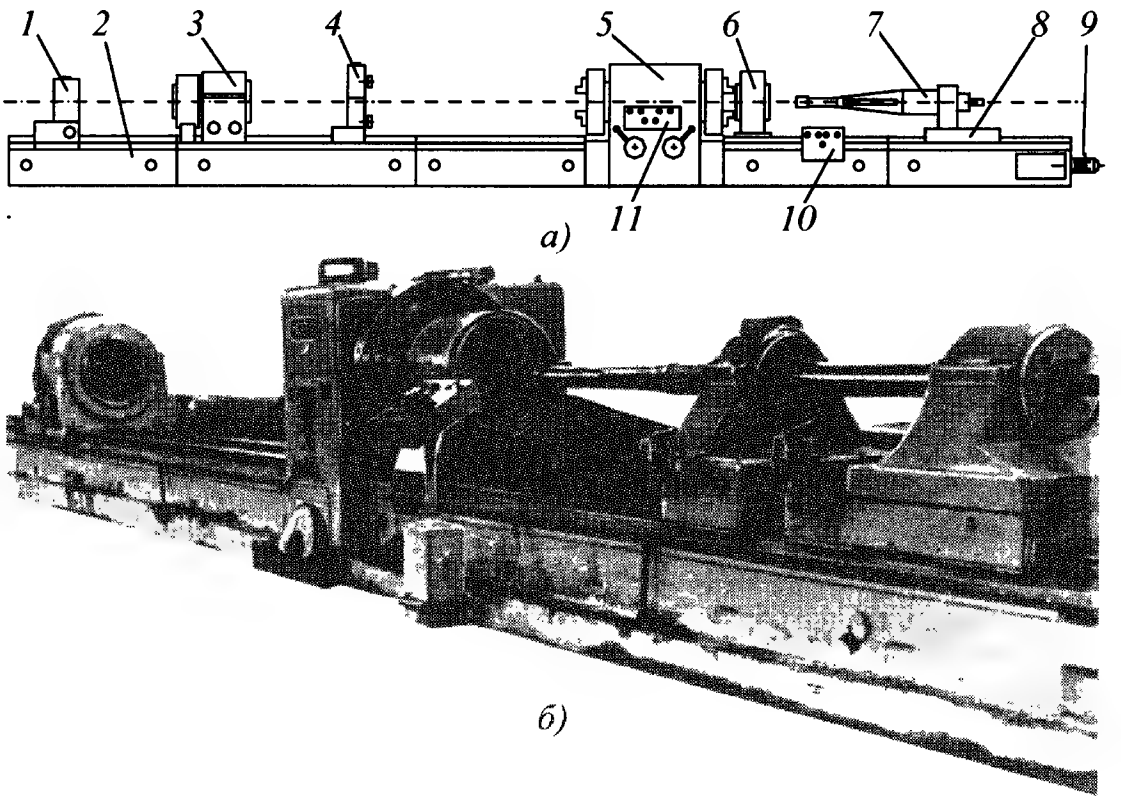


Рис. 2.76. Компоновочная схема станка для растачивания камор ствольных труб плавающими пластинами:

а – компоновочная схема; *б* – общий вид станка; *1* – задняя стойка; *2* – станина; *3* – маслоприемник; *4* – люнет; *5* – шпиндельная бабка; *6* – кожух; *7* – борштанга; *8* – суппорт; *9* – привод подачи; *10*, *11* – пульт управления

2.39. Технические данные станков для растачивания камор

Основные данные станка	Тип станка	
	РТ602.09	330Т/3-80
Наружный диаметр обрабатываемой детали, мм	80...300	200...500
Длина обрабатываемой детали, мм	4000...6000	3000...8000
Длина обрабатываемых конических отверстий, мм	1000	1200
Диаметр обрабатываемых конических отверстий, мм	150	125...220
Частота вращения шпиндельной бабки изделия, об/мин	8...250	4...250
Пределы рабочих подач, мм/мин	0,5...300	5...300
Регулирование подач	бесступенчатое	бесступенчатое
Ускоренный ход суппорта, мм/мин	3000	3000
Производительность насоса СОЖ, л/мин	50, 100, 150	50...150
Давление СОЖ, МПа	2,5	1,5...2,5
Мощность привода бабки изделия, кВт	22	50,5
Габариты станка (Д ×Ш ×В), мм	14500× ×2500× ×1500	18000× ×3500× ×1700
Масса станка, кг	20000	

2.10. Наружная механическая обработка ствольных труб

2.10.1. Типовые наружные поверхности ствольных труб. Требования к ним по точности и шероховатости

Вид наружных поверхностей ствольных труб, требования к точности их выполнения и шероховатости во многом зависят от конструкции артиллерийских систем.

На рис. 2.77 приведен примерный перечень основных наружных поверхностей ствольных труб и их расположение на трубах неавтоматических пушек среднего (100...152 мм) калибра:

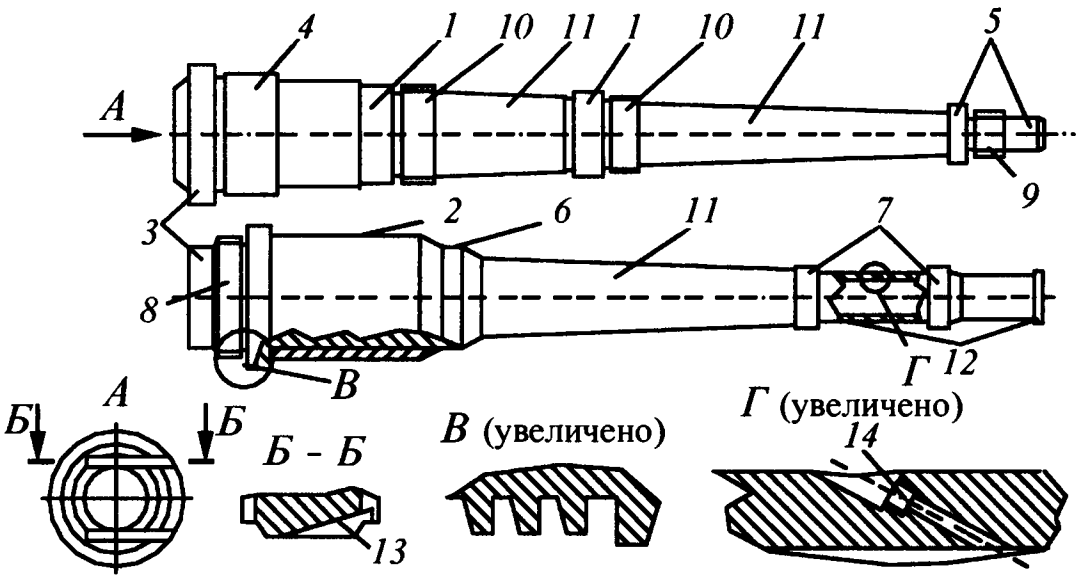


Рис.2.77. Типовые поверхности ствольных труб неавтоматических пушек среднего (100...152 мм) калибра

– поверхности базирования ствольных труб в артсистеме:

а) цилиндрические посадочные пояски *1* под обоймы при коробчатой люльке;

б) цилиндрические опорные поверхности *2* при круглой люльке;

– цилиндрические поверхности для соединения (посадки) трубы с казенниками *3*, казенниковыми муфтами *4*, дульными тормозами *5*, кожухами скрепления *6*, кожухами эжекторных устройств *7*;

– резьбовые или байонетные поверхности со специальным профилем соединения труб с казенниками *8*;

– резьбовые поверхности соединения труб с дульными тормозами *9*, с гайками крепления люлечных обойм *10*;

– свободные несопрягаемые с другими деталями конические поверхности *11*;

– свободные цилиндрические поверхности *12*;

– поверхности пазов под лапки экстракторов *13*, шпоночных пазов, стопоров;

– наклонные к оси канала отверстия эжекторных жиклеров *14* в башенных системах.

У высокотемпных автоматических пушек имеются наружные продольные канавки жидкостного охлаждения и бурты для посадки кожухов.

В табл. 2.40 представлены некоторые требования по выполнению типовых поверхностей и виды обработки, которыми эти требования обеспечиваются.

2.40. Требования по полю допуска и шероховатости наружных поверхностей ствольных труб и методы их обеспечения

Изделие	Калибр, мм	Параметры	Номера поверхностей ствольных труб в соответствии с рис. 2.77						
			1	2	3	4	5	6	7
ЗИС-3	76,2 нарез.	Поле допуска	h7		e8	f8	e8		
		Шероховатость, мкм	*Ra* = 2,5		*Ra* = 1,25	*Ra* = 2,5	*Rz* = 40		
		Окончательная обработка	Ш		Ш	Ш	Т		
2А-17	122 нарез.	Поле допуска		d9…d10	f7	d10	h8…h10	h7	f 8
		Шероховатость, мкм		*Ra* = 1,25	*Ra* = 0,63	*Ra* = 1,25	*Ra* = 2,5	*Ra* = 1,25	*Ra* = 2,5
		Окончательная обработка		Ш	Ш	Ш	Т	Ш, П	Т
2А-20	115 гладк.	Поле допуска		h9	f7			h7	f7
		Шероховатость, мкм		*Ra* = 1,25	*Ra* = 2,5			*Ra* = 0,63	*Ra* = 1,25
		Окончательная обработка		П	Т			П	П

Продолжение табл. 2.40

Изделие	Калибр, мм	Параметр	Номера поверхностей ствольных труб в соответствии с рис. 2.77						
			8	9	10	11	12	13	14
ЗИС-3	76,2 нарез.	Поле допуска	–	e6	–	h9	h9	h14	–
		Шероховатость, мкм		*Rz* = 40	*Rz* = 40	*Rz* = 80	*Rz* = 40	*Rz* =20…40	
		Окончательная обработка		Т	Т	Т	Т	Ф	
2А-17	122 нарез.	Поле допуска	–	d11	–	h14	h14	H13	H12
		Шероховатость, мкм		*Ra* = 2,5		*Rz* = 80	*Rz* = 80	*Rz* = 40…20	*Rz* = 40
		Окончательная обработка		Т		Т	Т	Ф, Сл	Св
2А-20	115 гладк.	Поле допуска	d11…d12	–	–	h12…h13	h12…h13	H14	H14
		Шероховатость, мкм	*Rz* = 20			*Rz* = 40 *Ra* = 2,5	*Rz* = 40 *Ra* = 2,5	*Rz* = 80	*Rz* = 80…20
		Окончательная обработка	Т			Т	Т	Ф	Св

Примечание. Ш – шлифовальный круг, П – полированная шкурка, Т – токарный станок, Ф – фрезерный станок, Св – сверлильный станок, Сл – слесарная обработка.

Как видно из табл. 2.40, большинство основных наружных поверхностей ствольных труб обрабатываются на токарных станках.

Шероховатость сопрягаемых поверхностей обеспечивается или обработкой шкуркой на токарных станках, или круглым шлифованием.

Примеры требований по величине допуска выполнения линейных размеров ствольных труб для некоторых характерных поверхностей приведены в табл. 2.41.

2.41. Требования по величине допуска выполнения линейных размеров ствольных труб

Изделие	Поле допуска выполнения размера				
	Общая длина трубы	Длина бурта на казенной части	Длина бурта под обойму люльки	Длина опорного цилиндра в круглой люльке	Длина пояска под кожух эжектора
ЗИС-3	–	h13	h14	h14	–
2А-17	h12, h13	h12	–	h13	h14, h15
2А-20	h13	h14	–	h14	h15

2.10.2. Схемы базирования ствольных труб при наружной обработке. Основные применяемые приспособления. Требования к точности базирования

При токарной обработке наружной поверхности ствольных труб их базирование может производиться по двум схемам.

Первая схема:

– один из концов заготовки закреплен в патроне станка;

– середина заготовки поддерживается одним или несколькими люнетами;

– второй конец заготовки поддерживается задним центром.

Вращение заготовки в этом случае обеспечивается непосредственно от зажимных элементов патрона. Практически всегда патрон зажимает деталь по наружной поверхности. В случае необходимости предохране-

ния обработанной поверхности детали при зажиме от повреждения кулачки патронов оснащаются медными или латунными башмаками.

Вторая схема:

– один конец заготовки базируется на переднем центре станка;

– середина заготовки поддерживается одним или несколькими люнетами;

– второй конец заготовки поддерживается задним центром.

Вращение заготовки осуществляется закрепленным на детали поводковым хомутом (рис. 2.78, *а*).

Базирование детали в центрах станка производится при помощи вставленных в канал заготовки разжимных пробок (рис. 2.78, *б*). При поджиме центром станка корпус *9* перемещает разжимную втулку *5* до упора в торец детали, а затем раздает ее до полного соприкосновения с поверхностью канала. Втулка *8* изготовлена из инструментальной стали и термообработана, и она предохраняет центровое гнездо от износа или деформирования посадочной конической поверхностью.

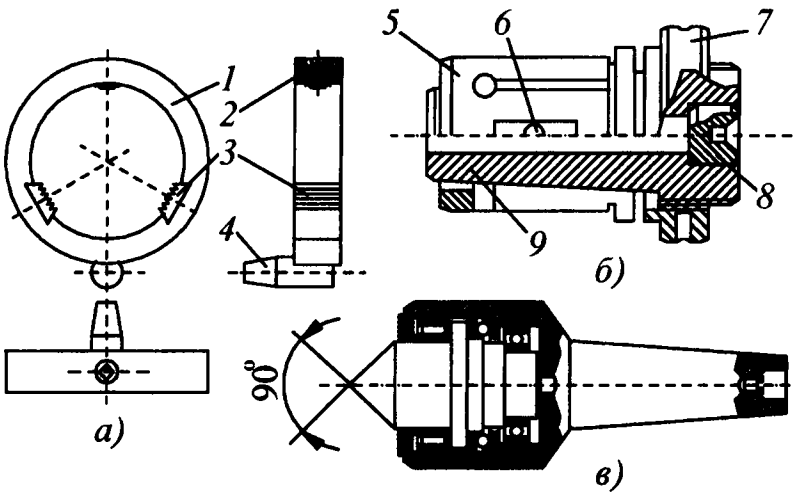


Рис. 2.78. Конструкция приспособлений для наружной обработки ствольных труб:

а – внешний вид хомута; *б* – разжимная пробка; *в* – задний вращающийся центр; *1* – хомут; *2* – болт; *3* – сухарь; *4* – палец; *5* – разжимная втулка; *6* – штифт; *7* – гайка; *8* – центровая втулка; *9* – конический корпус

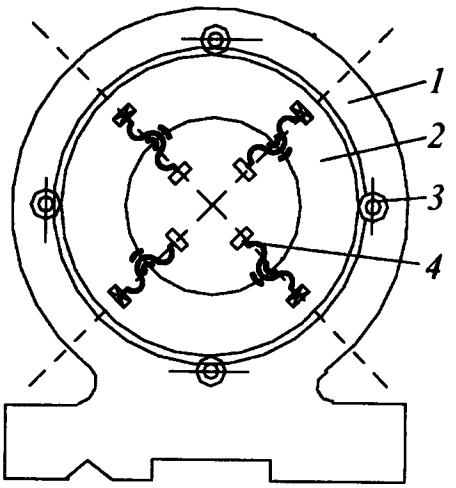


Рис. 2.79. Схема вертлюжного люнета: *1* – корпус люнета; *2* – вертлюг; *3* – опорные ролики; *4* – зажимные кулачки

Для извлечения пробки из канала вращается гайка *7* до упора в торец втулки *5*.

Центры для токарной обработки (рис. 2.79, *в*) ствольных труб делаются повышенной жесткости (угол конуса центра 90°). Вращающиеся задние центры имеют роликовые радиальные подшипники, воспринимающие значительные нагрузки.

Люнеты токарных станков для наружной обработки ствольных заготовок, особенно на предварительных операциях (обдирке и обточке), делаются проходными, с возможностью прохода инструмента мимо этого люнета. Люнеты имеют повышенную жесткость за счет массивности корпусов и роликовых опор. Такой проходной жесткий люнет для черновой обработки труб виден на рис. 2.82.

Кроме трехроликовых люнетов применяются также люнеты вертлюжные. Они надежно поддерживают трубу при отрезке от нее дисков для механических испытаний и концевых припусков под повторные термообработки. Схема вертлюжного люнета дана на рис. 2.79.

Вертлюжный люнет в процессе отрезки от трубы торцовой части хорошо виден на рис. 2.87.

Вертлюжные люнеты применяются также при наружной обработке труб в случаях, когда необходимо забазировать трубу относительно оси станка по поверхности канала, т.е. совместить ось канала с осью станка.

Схема проведения этой операции дана на рис. 2.80.

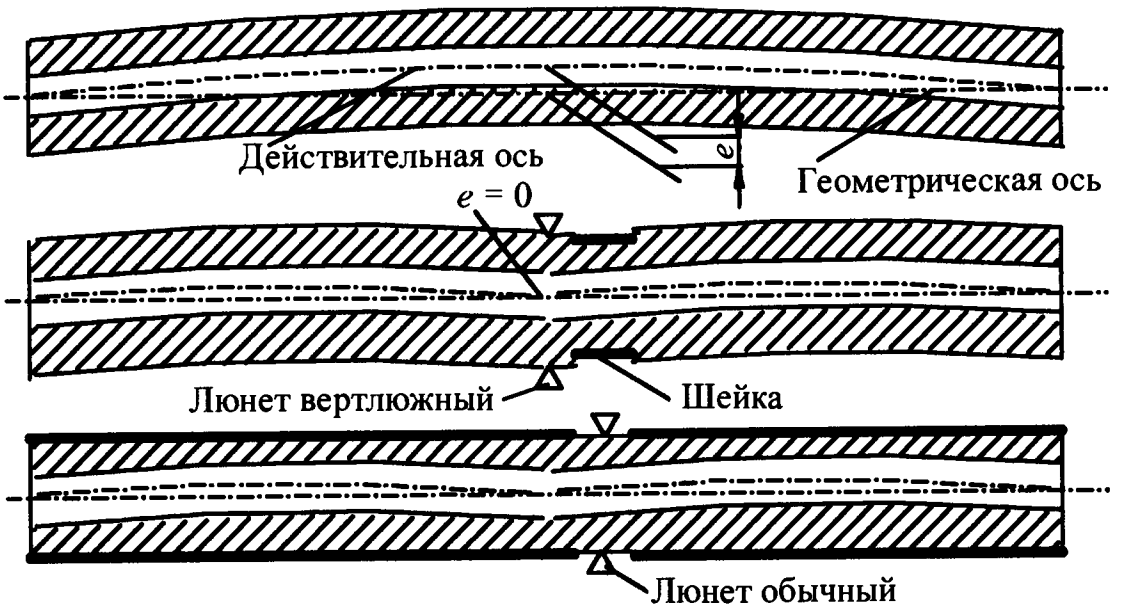


Рис. 2.80. Схема применения вертлюжного люнета при обтачивании ствольных труб

Такое базирование производится с применением прибора «Центр», схема которого будет показана в разделе «Контроль труб». Из схемы видно, что при изгибе трубы до получения эксцентриситета $e = 0$ между действительной и геометрической осями канала, проточенная шейка на наружной поверхности детали будет эквидистантна каналу.

При базировании трубы на эту шейку уже в обычном люнете происходит изгиб оси канала трубы, и в этом изогнутом состоянии труба и проходит наружную обработку.

Протачивание трубы с ее изгибом до $e = 0$ достигается минимальная разностенность.

При наружной токарной обработке ствольных труб в передней бабке крепится в зависимости от зоны обработки или дульный, или казенный торцы.

Точность базирования проверяется при помощи индикаторов – на чистовых операциях или рейсмусами – на черновых.

Места проверки биения заготовок в большинстве случаев следующие:

1. Наружная поверхность заготовки, черная или обработанная на предыдущей операции;

2. Специально проточенные на наружной поверхности проверочные пояски, соосные с поверхностью канала;

3. Поверхность канала на различных расстояниях от торца (от 20 до 500 мм);

4. Поясок на разжимной пробке.

Точность выверки заготовок ствольных труб повышается по мере выполнения технологического процесса.

На первоначальных операциях – обдирке и черновом обтачивании – биение наружной поверхности для разных типов заготовок колеблется в пределах 4...14 мм.

В некоторых случаях оговаривается величина максимального биения в различных точках наружной поверхности. Например, при обтачивании дульной части заготовки трубы гладкоствольной танковой системы биение поверхности заготовки на расстоянии 1000 мм от казенного торца не должно превышать 10 мм, а в остальных местах – 6 мм.

На чистовых операциях допустимое биение по проверочным поверхностям: пояскам, разжимным пробкам, каналам, – оговаривается в пределах 0,1...0,05мм, а по наружным поверхностям деталей – до 1...3 мм.

Максимально тщательно производится выверка деталей при обтачивании казенных буртов, мест под скрепление, посадочных мест под обоймы и опорные поверхности люлек.

При нарезании резьбы под дульный тормоз более строгая (с точностью 0,1...0,05 мм) выверка биения детали производится по дульной части канала.

Биение при выверке детали для обтачивания посадочных мест под эжекторы лежит в пределах 0,1 мм.

В технологических процессах уделяется значительное внимание точности изготовления опорных шеек под люнеты. Обтачивание этих шеек производится после выверки и зажима детали и проводится на относительно низких режимах. Шероховатость поверхности люнетных шеек лежит в пределах Ra = 2,5...1,25 мкм. Это достигается в большинстве случаев полировкой шеек наждачным полотном. Овальность шеек под люнеты у современных машин оговаривается в пределах 0,05 мм, а биение деталей по этим шейкам при установленных люнетах – в пределах 0,1...0,05 мм.

В ряде техпроцессов после окончания операций наружного обтачивания (предварительной обдирки или обтачивания после термообработки) производится замер биения середины заготовки по наружной поверхности.

В табл. 2.42 показаны допускаемые биения заготовок (в мм) после соответствующих обтачиваний при распущенных люнетах.

2.42. Допускаемые биения наружных поверхностей ствольных труб после обтачивания

Изделие	Операции		
	Обдирка	После термообработки	
		1-е обтачивание	2-е обтачивание
ЗИС-3	1,5	–	–
2А-20	4	3	1,5
2А-17	–	3	2
М-46	4	3	1,5

2.10.3. Станки для основных операций наружной механической обработки ствольных труб

Основными операциями наружной обработки ствольных заготовок являются:

– токарная обработка сопрягаемых и свободных поверхностей труб, включая нарезание специальных резьб (для крепления казенника, дульного тормоза, обойм люльки, эжекторного устройства);

– отрезание дисков для механических испытаний, а также излишков (припуска) под повторную термообработку от казенного и дульного торцев трубы;

– изготовление фрезерованием и сверлением пазов и отверстий под лапки экстракторов на казенном торце трубы;

– изготовление эжекторных отверстий в трубах танковых и самоходных установок.

Для наружной токарной обработки ствольных труб в настоящее время применяются станки с повышенной жесткостью станин, бабок, суппортов люнетов.

У таких станков предусматриваются: системы ЧПУ, 2...3 суппорта, 2...3 люнета, значительная мощность главного привода, автономные приводы ускоренного перемещения суппортов, механизированные зажимы задних бабок, люнетов.

Этим условиям удовлетворяют токарные станки Рязанского и Краматорского станкостроительных заводов. На рис. 2.81 показана компоновочная схема токарно-обдирочного станка РТ507, а на рис. 2.83 – токарно-обдирочных станков РТ504.04, РТ646.

Фотография токарно-обдирочного станка РТ507 приведена на рис. 2.82. Здесь наглядно видны мощные конструкции бабок, суппортов, проходных люнетов.

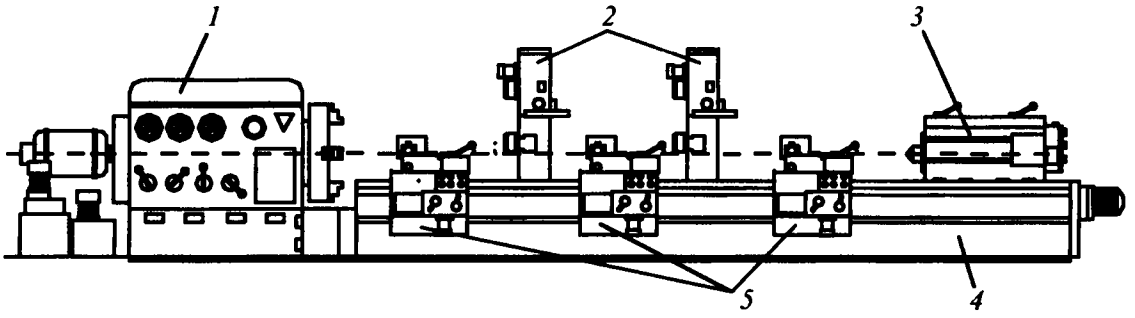


Рис. 2.81. Компоновочная схема токарно-обдирочного станка РТ507:
1 – передняя бабка; *2* – люнеты; *3* – задняя бабка; *4* – станина; *5* – суппорты

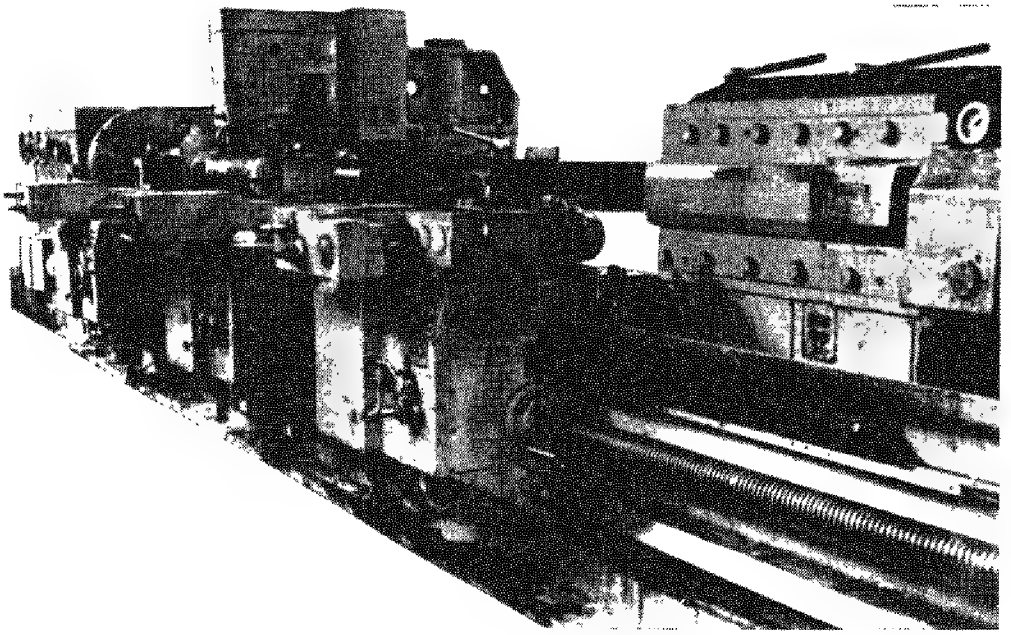


Рис. 2.82. Токарно-обдирочный станок РТ507

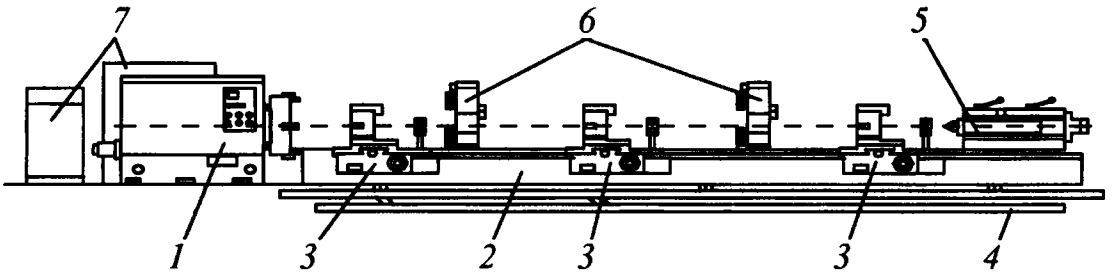


Рис. 2.83. Компоновочная схема токарно-обдирочных станков типа РТ504.04, РТ646: *1* – передняя бабка; *2* – станина; *3* – суппорт; *4* – транспортер стружки; *5* – задняя бабка; *6* – люнеты; *7* – электрошкафы

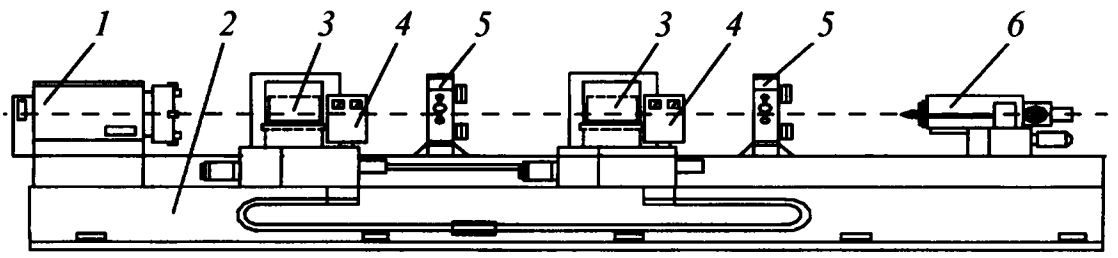


Рис. 2.84. Компоновочная схема токарного станка РТ711Ф3 для чистовой обработки наружных поверхностей труб:
1 – передняя бабка; *2* – станина; *3* – суппорты; *4* – пульты управления; *5* – люнеты; *6* – задняя бабка

Для чистовой обработки наружных поверхностей ствольных труб, нарезания резьб, обтачивания конических и цилиндрических посадочных поверхностей применяются станки типа РТ711Ф3 (рис. 2.84).

Изображение токарного станка для окончательной токарной обработки ствольных труб дано на рис. 2.85.

Здесь по сравнению с токарно-обдирочными станками размеры и жесткости основных узлов станка более скромные, так как нагрузки при чистовой обработке существенно более низкие, чем при обдирке.

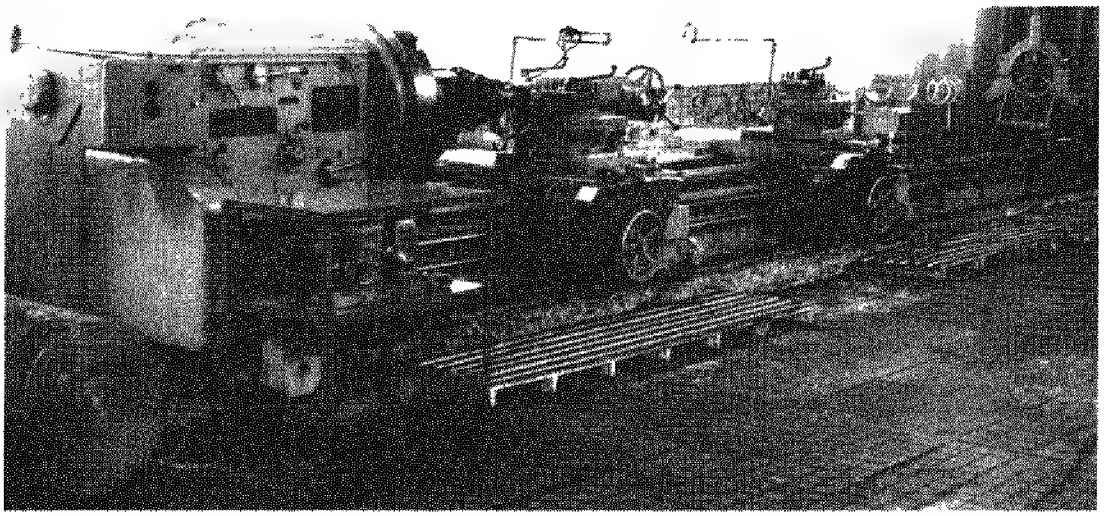


Рис. 2.85. Токарный станок для чистовой обработки наружных поверхностей ствольных труб

В табл. 2.43 приведены основные технические характеристики токарных станков, пригодных для наружной обработки ствольных труб.

2.43. Технические данные станков для обтачивания ствольных труб

Станки	РТ646	РТ711Ф3	165801	РТ650
Диаметр обрабатываемых изделий, мм:				
минимальный	150	100	160	100
максимальный	500	500	400	500
Высота центров, мм	630	500	500	
Длина обрабатываемых изделий, мм	8000	8000	8000	
Пределы чисел оборотов шпинделя, об/мин	25...125	4...500	5...100	8...250
Количество суппортов	3	2	2	3
Пределы продольных подач:				
мм/об	0,315...3,15		0,2...2,0	
мм/мин		1...1000		5,5...550
Количество люнетов	2...3	2	2*	2*
Максимальная масса обрабатываемой детали, кг	7000	2500		
Мощность главного привода, кВт	125	55		55
Габаритные размеры станка, мм:				
длина	14215	13500	12000	14720
ширина	3030	3300	2000	3100
высота	2120	1720	1900	1800
Масса станка, кг	53000	35000		37000

* Один люнет вертлюжного типа.

Для отрезания излишков от торцов и дисков для изготовления образцов под механические испытания и определения макро- и микроструктуры выпускаются станки моделей 165801 и РТ650 (рис. 2.86, 2.87). Их особенностью является наличие жесткого люнета вертлюжного типа, а в станках РТ650 также задних бабок с 4-кулачковыми планшайбами для удобства закрепления отрезаемых от детали концов. Основные технические характеристики этих станков также приведены в табл. 2.43.

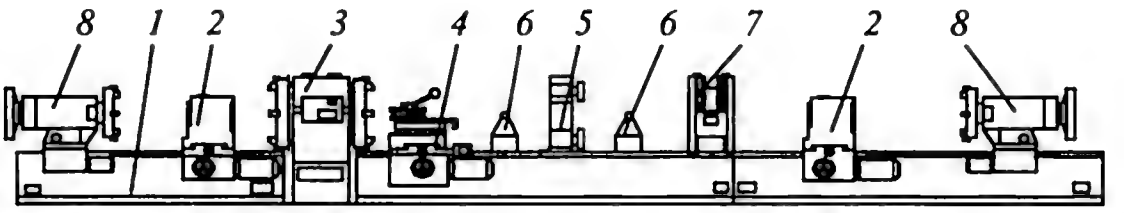


Рис. 2.86. Компоновочная схема токарно-отрезного станка РТ650:
1 – станина; *2* – отрезной суппорт; *3* – шпиндельная бабка вертлюжного типа; *4* – суппорт; *5* – роликовый люнет; *6* – поддерживающие (опорные) ролики; *7* – вертлюжный люнет; *8* – задние бабки с 4-х кулачковой планшайбой

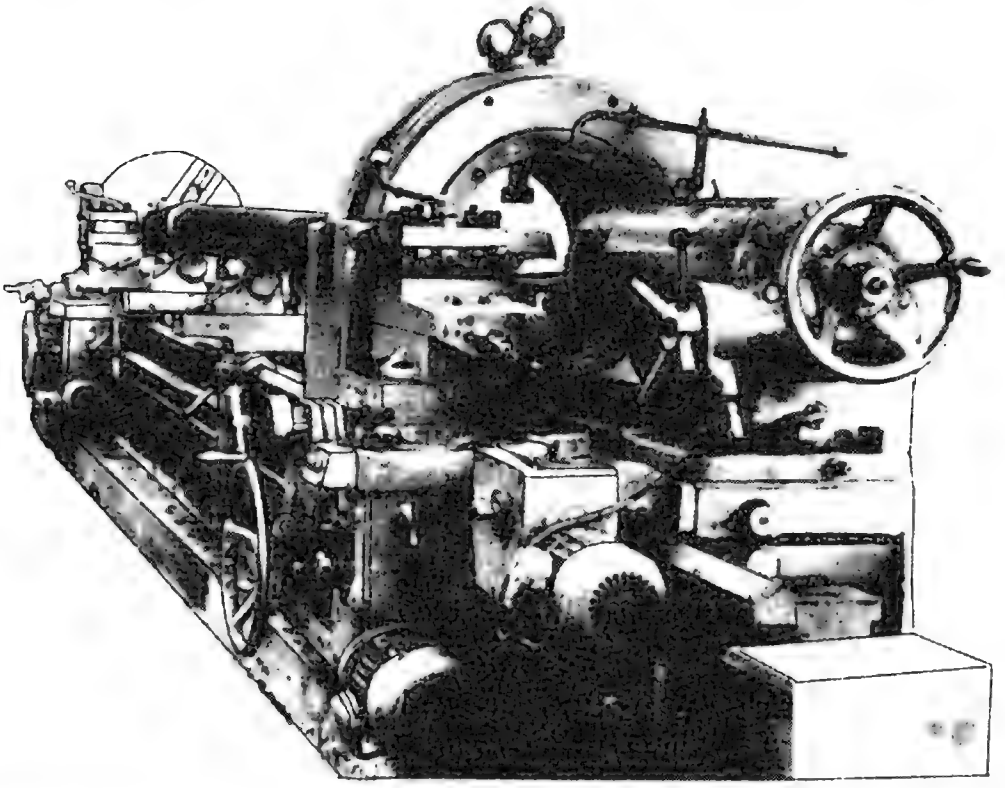


Рис.2.87. Токарно-отрезной станок для отрезания дисков-темплетов и излишков (броса) от ствольных труб

На фотографии хорошо виден вертлюжный люнет, поддерживающий ствольную трубу при отрезании дисков-темплетов и броса.

Фрезерование пазов под лапки экстракторов, шпоночных пазов и скосов на казенном торце, а также сверление отверстий под пружины экстракторов успешно выполняются на фрезерном станке со сверлильной насадкой (рис. 2.88).

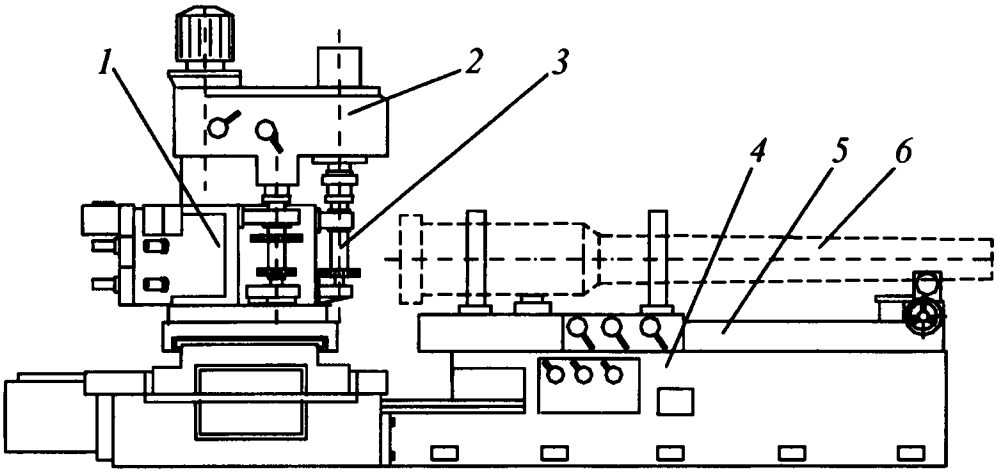


Рис. 2.88. Компоновочная схема специального фрезерно-сверлильно-зенкеровального станка для обработки казенных торцов ствольных труб:
1 – револьверный инструментальный барабан; *2* – шпиндельная бабка; *3* – блок инструментов в рабочей позиции; *4* – станина стола; *5* – поворотный стол; *6* – обрабатываемая труба

Изображение такого станка представлено на рис. 2.89.

Достоинством станка является возможность фрезерования, сверления и зенкерования всех необходимых поверхностей на казенном торце трубы за одну ее установку за счет применения поворотного револьверного барабана с предварительно настроенными блоками инструментов. Поворот ствольной трубы вокруг своей оси осуществляется специальным электрическим приводом. Труба базируется на двух призмах хорошо обработанными поверхностями (шейками под захваты люльки или опорными поверхностями под круглые люльки). Верхняя часть приспособления с закрепленной деталью имеет возможность поворачиваться в горизонтальной плоскости на некоторый угол.

Сверление, зенкерование и развертывание эжекторных отверстий производится на специальном станке (рис. 2.90), оснащенном двумя агрегатными головками. Головки имеют револьверные насадки для соответствующих инструментов. После изготовления двух отверстий труба доворачивается на необходимый угол для обработки следующей пары эжекторных отверстий.

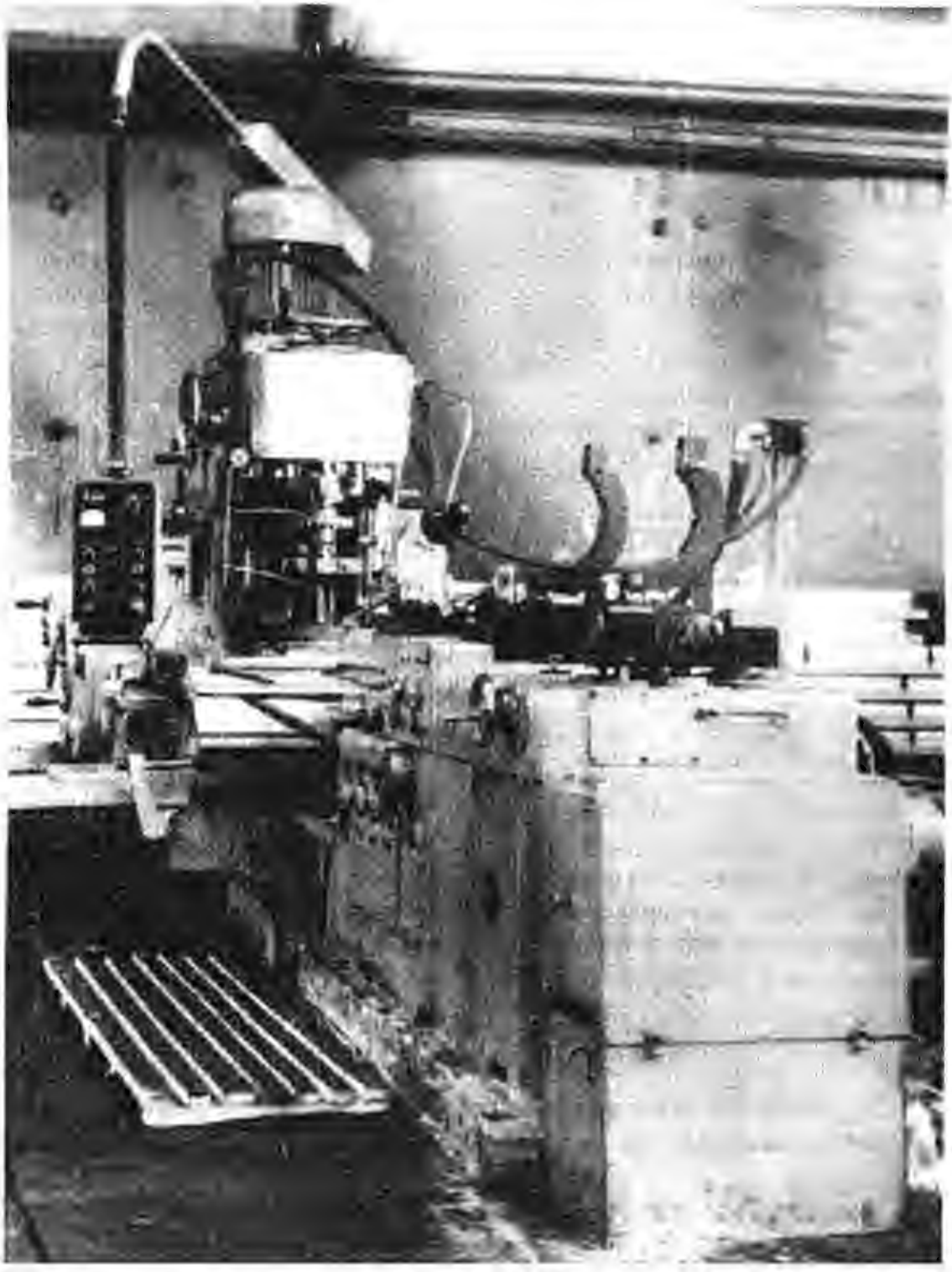


Рис. 2.89. Станок для механической обработки казенного торца ствольных труб

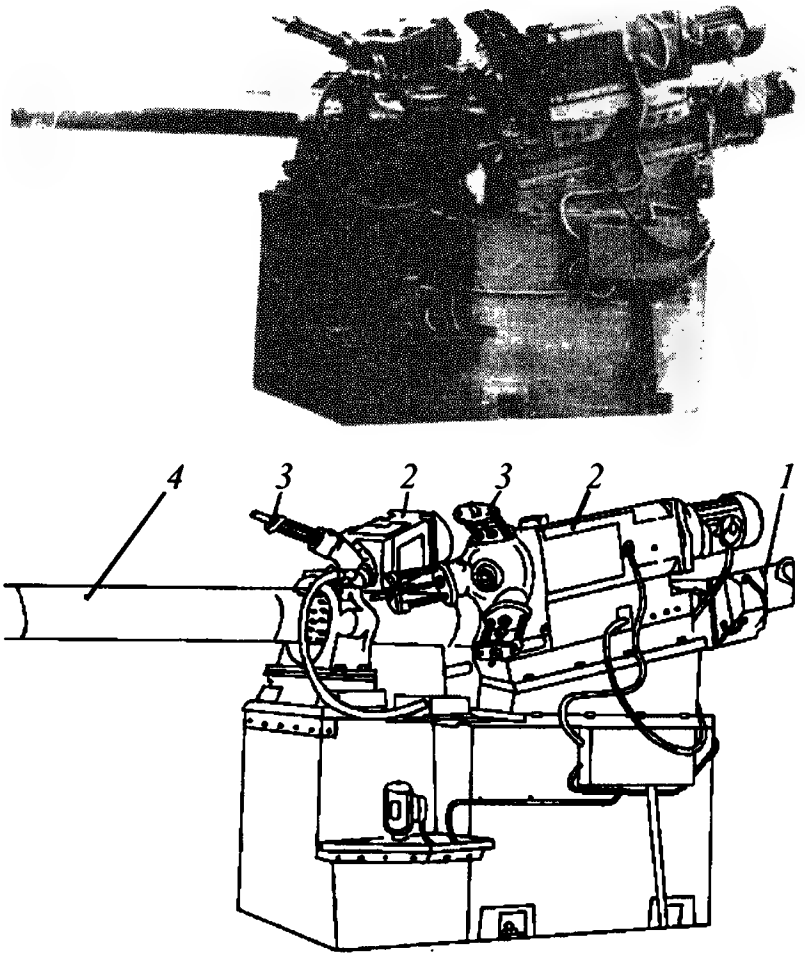


Рис. 2.90. Общий вид и компоновочная схема станка для изготовления эжекторных отверстий в ствольных трубах:
1 – привод подачи агрегатной головки; *2* – агрегатные головки; *3* – револьверные инструментальные головки; *4* – ствольная труба

2.10.4. Основные типы применяемых инструментов и режимы механической обработки наружных поверхностей ствольных труб

В качестве режущего инструмента при наружной механической обработке ствольных труб применяются резцы, фрезы, сверла, зенкеры, развертки, метчики. Материал режущей части инструментов – быстрорежущие стали и твердые сплавы титановольфрамовой группы (Т5К10 – для обдирочных и Т15К6 – для чистовых работ).

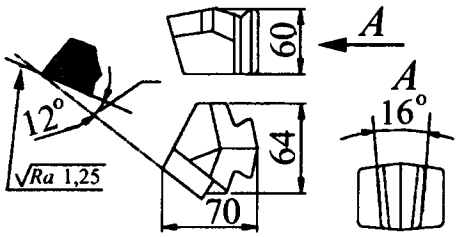


Рис. 2.91. Рабочая часть резца для токарной обдирки труб

Затачивание шеек под люнеты, протачивание фасонных канавок, обтачивание галтелей производится, как правило, инструментом с рабочей частью из быстрорежущей стали.

Резцы каких-либо крупных конструктивных особенностей не имеют. Для протачивания канавок и нарезания специальных резьб применяются резцы с фасонной рабочей частью, соответствующей профилю обрабатываемой поверхности. Исключением, пожалуй, может быть назван резец для черновой обдирки труб, рабочая часть которого (рис. 2.91) при затуплении режущей кромки быстро меняется за счет посадки ее в державке на клиновой ласточкин хвост. Такие быстросменные рабочие части оснащаются паяной пластиной твердого сплава.

Пазы под лапки экстракторов обрабатываются блоками из трехсторонних фрез с ножами из быстрорежущей стали. Пример такого блока показан на рис. 2.92.

Обработка отверстий под жиклеры ведется комплектом инструментов. Этот комплект обычно состоит из сверл, зенкеров и метчиков. Сверла и зенкеры работают на револьверных головках специального станка (см. рис. 2.90). Нарезание резьб под жиклеры, как правило, производится слесарем.

Для обеспечения линейных размеров эжекторных отверстий зенкеры могут снабжаться упорами. Пример зенкера с таким упором дан на рис. 2.93, а на рис. 2.94 – метчик для нарезания резьбы в эжекторных отверстиях под жиклеры.

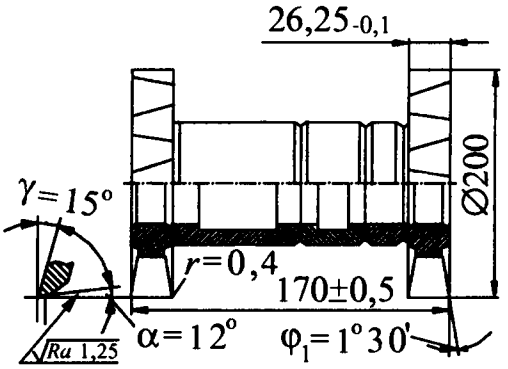


Рис. 2.92. Блок фрез для изготовления пазов под лапки экстрактора с примерными точностными требованиями

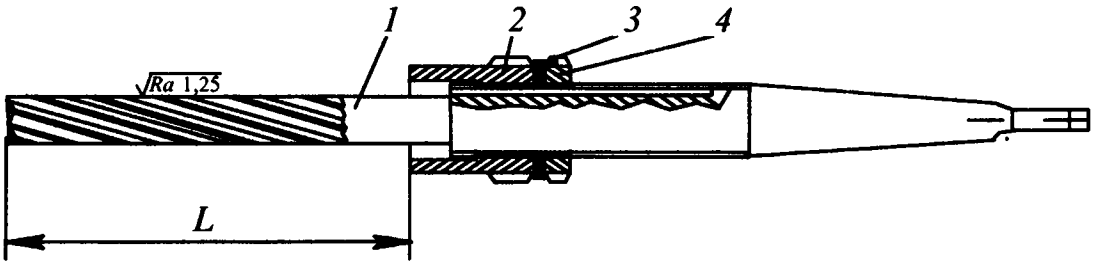


Рис. 2.93. Зенкер с упором для обеспечения необходимой глубины обрабатываемого отверстия: *1* – зенкер; *2* – регулируемый упор; *3* – контровочная шайба; *4* – контргайка

В табл. 2.44–2.46 приведены режимы обтачивания наружных поверхностей ствольных заготовок.

Режимы обработки наружных поверхностей ствольных заготовок до термообработки даны в табл. 2.44.

2.44. Режимы обработки наружных поверхностей ствольных труб до термообработки

Режимы	Изделие				
	С-60	ЗИС-3	2А-20	2А-17	М-46
Скорость резания, м/мин	43…52	38…56	36…45	38…60	35…53
Подача на оборот, мм/об	0,7	0,56	1,20	0,75…1,2	1,2
Толщина снимаемого слоя, мм:					
казенная часть	25/4	22/3…18/2	24/3…15/1	10/1	18/1
средняя часть	18/2	28/4	12/2…15/2	15/2	15/1… …10/1
дульная часть	12/ 2	18/2	15/2	15/1	7/1
Шероховатость обработанной поверхности, мкм	*Rz* = = 80	*Rz* = = 80	*Rz* = = 320…160	*Rz* = = 320…80	*Rz* = = 320
Поле допусков при обработке диаметров	h14	h14, h15	h15	h14	h15

Примечание. В знаменателе указано число проходов.

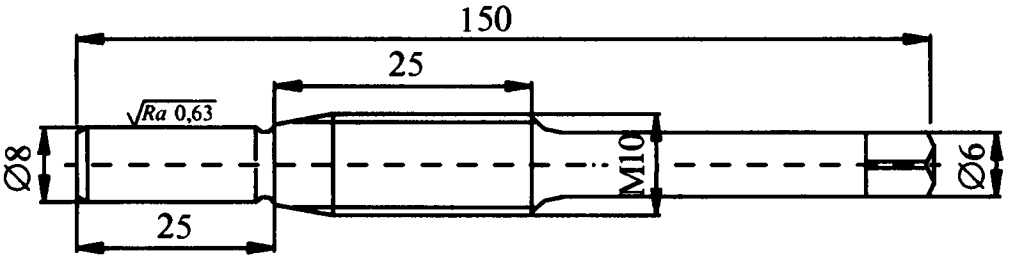


Рис. 2.94. Метчик для нарезания резьбы под жиклеры в эжекторных отверстиях

2.45. Режимы предварительного обтачивания ствольных труб после термообработки

Режимы	Изделия				
	С-60	ЗИС-3	2А-20	2А-17	М-46
Категория прочности	О-800	О-650	О-1000	О-1000	О-800
Скорость резания, м/мин	116...125	38...45	42...57	30...37	60...73
Подача на оборот, мм/об	0,56	0,84	1,6	0,86	0,55
Толщина снимаемого слоя, мм:					
казенная часть	2/1	4/2	4,5/1	5/1	10/2
средняя часть	4/2	4/2	10/2	8/1	12,5/2
дульная часть	7/2	4/2	8/2	8/1	12,5/2
Шероховатость обработанной поверхности, мкм	$Rz = 80$	$Rz = 80$	$Rz = 160$	$Rz = 80$	$Rz = 320$
Поле допусков при обработке диаметров	h14	h14	h16	h14	h14, h15

Примечание. В знаменателе указано число проходов.

2.46. Режимы чистового обтачивания ствольных труб

Режимы и параметры	Изделия				
	С-60	ЗИС-3	2А-20	2А-17	М-46
Категория прочности	О-800	О-650	О-1000	О-1000	О-800
Скорость резания, м/мин	60…87	55…67	48…73	46…62	45…87
Подача на оборот, мм/об	0,25…0,28	0,6	0,75*…0,8*; 3**…5**	0,68	0,7…2
Толщина снимаемого слоя, мм:					
казенная часть	2/1	2/1	0,8*/1… …0,2**/1	6/2…3/1	0,5/1
средняя часть	2/1	2/1	5*/1… …0,5**/1	3,5/2	0,5/1
дульная часть	2/1	2/1	5*/1… …0,5**/1	6/1…1/1	0,25/1
Шероховатость обработанной поверхности, мкм	Rz = 40; Ra = 2,5	Rz = = 80…40	Rz = 40; Ra = 1,25	Rz = 80; Ra =2,5	Rz = = 80…20
Поле допуска при обработке диаметров	f9; h12…h14	f9; h14	h8…h 12	f9, h11, h12	h8…h14

*При предварительных проходах.
**При чистовых проходах.

Примечание. В знаменателе указано число проходов.

2.10.5. Затраты времени на основные операции наружной механической обработки ствольных труб

Затраты времени при обработке ствольных заготовок по наружным поверхностям были проанализированы при выполнении трех наиболее трудоемких операций:

– обдирки перед термической обработкой (табл. 2.47);
– первого обтачивания после термической обработки (табл. 2.48);
– второго обтачивания после термической обработки (табл. 2.49).

2.47. Затраты времени на обдирку ствольных труб до термообработки

Время	Изделия				
	С-60	ЗИС-3	2А-20	2А-17	М-46
Штучное время ($T_{шт}$), мин	279	324	510	300	445
Машинное время ($T_{маш}$), мин	200	202	389	206	331
Вспомогательное время ($T_{всп}$), мин	60	97	95	75	89
Время установки и выверки детали ($T^*_{уст}$), мин	22	–	65	38	48
$T_{маш}/T_{шт}$, %	72	62	76	69	74

*Время установки детали включает также установку люнетов, муфт, разметку, раскрепление.

2.48. Затраты времени на первое после термообработки обтачивание ствольных труб

Времена	Изделия				
	С-60	ЗИС-3	2А-20	2А-17	М-46
Штучное время $T_{шт}$, мин	191	121	152	395	264
Машинное время, $T_{маш}$, мин	116	75	95	233	160
Вспомогательное время, $T_{всп}$, мин	61	33	51	76	85
Время установки и выверки детали, $T^*_{уст}$, мин	40	10	22	35	35
$T_{маш}/T_{шт}$, %	61	62	62	59	61

*Время установки детали включает также установку люнетов, муфт, разметку, раскрепление.

2.49. Затраты времени на второе после термообработки обтачивание ствольных труб

Времена	Изделия				
	С-60	ЗИС-3	2А-20	2А-17	М4-6
Штучное время $T_{шт}$, мин	201	177	157	210	165
Машинное время, $T_{маш}$, мин	122	81	102	143	106
Вспомогательное время, $T_{всп}$, мин	68	80	45	49	42
Время установки и выверки детали, $T^{*}_{уст}$, мин	36	24	22	19	35
$T_{маш}/T_{шт}$, %	61	46	65	68	64

* Время установки детали включает также установку люнетов, муфт, разметку, раскрепление.

2.11. Горячее скрепление ствольных труб

2.11.1. Назначение скрепления труб. Типы скрепляемых в настоящее время труб. Основные требования к скрепляемым поверхностям

Скрепленные трубы отличаются тем, что в их стенках до выстрела искусственно созданы напряжения, повышающие прочность.

Скрепление ствольных труб заключается в том, что на наружной поверхности центральной трубы по всей длине или в необходимой ее части надеваются с натягом кольца, кожуха или наматывается натянутая стальная проволока.

На рис. 2.95 дана схема скрепления трубы с кожухом.

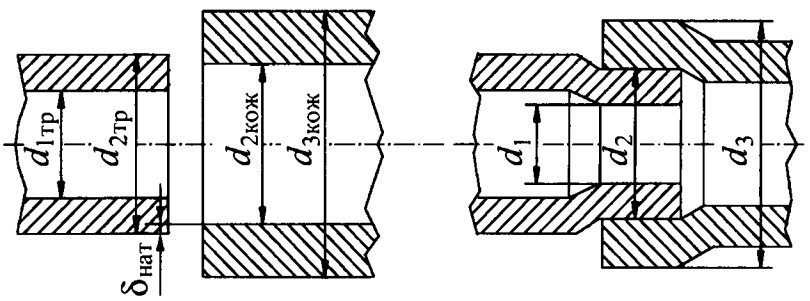


Рис. 2.95. Схема скрепления трубы с кожухом

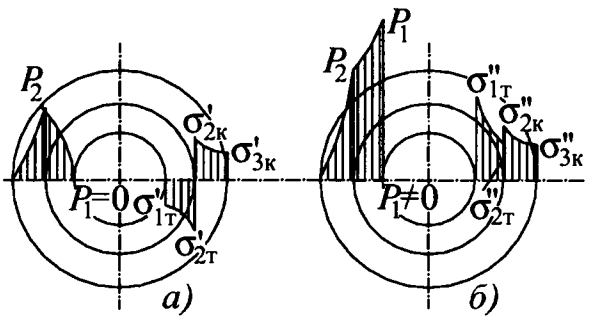


Рис. 2.96. Схемы распределения давлений и напряжений в скрепленной трубе:
а – до выстрела;
б – во время выстрела

Натяг $(d_{2тр} - d_{2кож})/2$ приводит к перераспределению размеров наружных и внутренних диаметров трубы и кожуха. При надевании на трубу кожуха с натягом в этой сборке возникают напряжения (рис. 2.96, *а*), которые при высоких давлениях от выстрела позволяют в наиболее напряженной части трубы – на поверхности канала – получить допустимые величины напряжений (рис. 2.96, *б*). Калибр таких пушек 115...152 мм.

Диаметр трубы, по которой производится скрепление – $d_{скр}$ (рис. 2.97) – для этих машин лежит в пределах 250...300 мм.

Шероховатость поверхности трубы в месте размещения кожуха Ra = 1,25 мкм.

Цилиндрическая часть трубы с торцем бурта сопрягается галтелью. Радиус этой галтели относительно невелик – порядка 1,5 мм.

Достаточно строго выполняется взаимное расположение цилиндрической поверхности под скрепление и бурта. Биение поверхности бурта относительно посадочной поверхности под кожух допускается в пределах 0,03...0,05 мм.

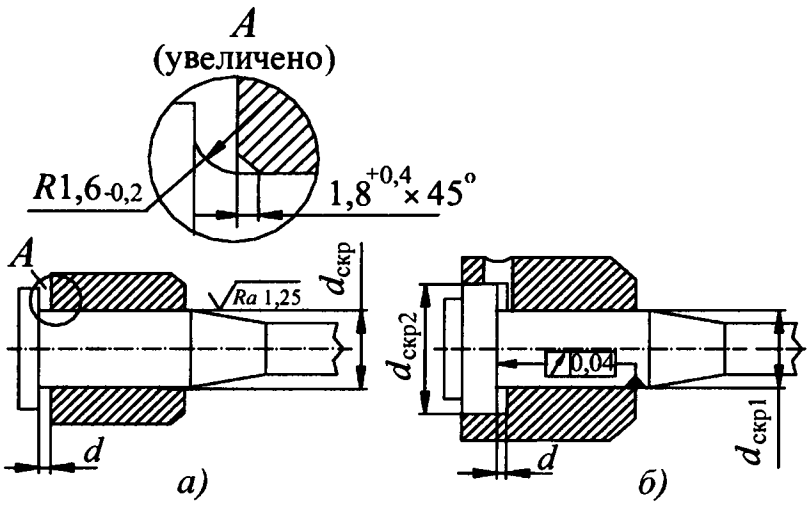


Рис. 2.97. Схемы расположения кожуха на трубе:
а – кожух выполнен по одному диаметру скрепления $d_{скр}$; *б* – кожух выполнен по двум диаметрам скрепления $d_{скр1}$ и $d_{скр2}$

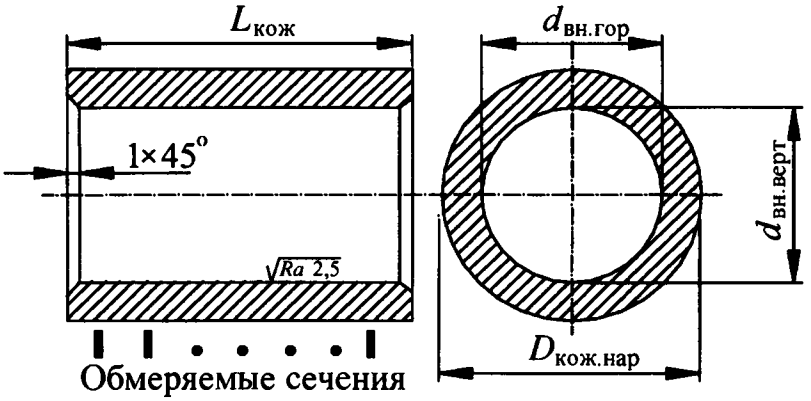


Рис. 2.98. Эскиз кожуха для скрепления труб

В связи с тем, что обеспечить точность размеров наружных поверхностей проще, чем внутренних, обработка посадочной цилиндрической поверхности трубы производится после растачивания и обмера посадочной поверхности кожуха по его фактическим размерам. Допуск на изготовление цилиндрической посадочной части трубы лежит в пределах 0,03...0,05 мм.

Кожух изготавливается обычно из тех же сталей, что и труба, например, ОХН3МФА.

Наружный диаметр заготовки кожуха $D_{кож.нар}$ (рис. 2.98) выполняется в зависимости от конструкции казенной части трубы и лежит в пределах 315...330 мм при толщине стенки, соответственно 25...40 мм.

Точность выполнения посадочной поверхности кожуха проверяется по двум взаимно перпендикулярным диаметрам ($d_{гор}$ и $d_{верт}$, см. рис. 2.98) через каждые 100 мм. При этом разность между максимальным и минимальным размерами не должна превышать 0,05 мм. Допуск же на выполнение этого посадочного диаметра лежит в пределах + 0,07 мм.

Шероховатость посадочной поверхности кожуха – Ra = 2,5 мкм.

После скрепления контролируется зазор d (см. рис. 2.97) между буртом и торцем кожуха. Этот зазор стремятся выдержать в пределах 0,08...0,1 мм.

Когда кожух выполняется по одному диаметру скрепления – $d_{скр}$ (см. рис. 2.97, *а*) – контроль зазора d осуществляется достаточно просто – щупом по всей поверхности контакта.

Если кожух надевается на две поверхности трубы по диаметрам $d_{скр1}$ и $d_{скр2}$ (рис. 2.97, *б*), то контролировать зазор d существенно сложнее. Для этого в кожухе предусматривают радиальное отверстие, через которое только в одном месте щупом же проверяется зазор d.

Полный натяг $-2d_{нат}$ (см. рис. 2.95) при скреплении трубы кожухом в казенной части для приведенных труб лежит в пределах 0,2...0,4 мм.

2.11.2. Оборудование и режимы скрепления

В связи с тем, что натяги между трубой и кожухом составляют порядка десятых долей миллиметра, просто напрессовать на трубу кожух без создания между ними зазора около 0,5...0,7 мм технически сложно.

Зазор может быть создан или нагревом кожуха, или охлаждением трубы.

Решать задачу создания необходимого зазора проще нагревом кожуха.

При скреплении также необходимо обеспечить заданный торцевой зазор d (рис. 2.97, *а*). На первый взгляд, это несложно обеспечить, подав нагретый кожух до упора в бурт трубы. Но при остывании кожуха его длина должна сокращаться, и если представить, что середина кожуха неподвижна, а сокращение его идет от торцов, то зазор d при длине кожуха порядка 800 мм и его нагреве до 400 °С образуется около 2 мм, что недопустимо. Поэтому, в процессе горячего скрепления необходимо обеспечить постоянный контакт торца кожуха и бурта.

Таким образом, для горячего скрепления кожуха с трубой необходимо оборудование для нагрева кожуха и для прижима кожуха к бурту трубы во время остывания.

Для нагрева кожуха используются печи с электрическим нагревом, снабженные термопарами. Как правило, в каждой печи нагревается один кожух.

Температура нагрева должна быть такой, чтобы обеспечить приемлемый (в несколько десятых долей миллиметра) зазор с трубой, но не изменить механические свойства термообработанного кожуха и не дать на его поверхности окалины. Эта температура лежит в пределах 450...480 °С. Нагретый таким образом кожух в течение 20...40 с надевается на трубу, предварительно положенную на опоры (рис. 2.99, *а*).

Кожух *8* кладется на тележку *6*, которая лебедкой и тросом по направляющим *7* надевает его на трубу.

При этом опоры с гидравлическими цилиндрами *5* поочередно опускаются и пропускают тележку до упора кожуха в бурт трубы. После этого тележка выводится в исходное положение, а труба гидроцилиндрами *5* опускается так, чтобы она свободным торцом кожуха уперлась в U-образный ложемент *2*.

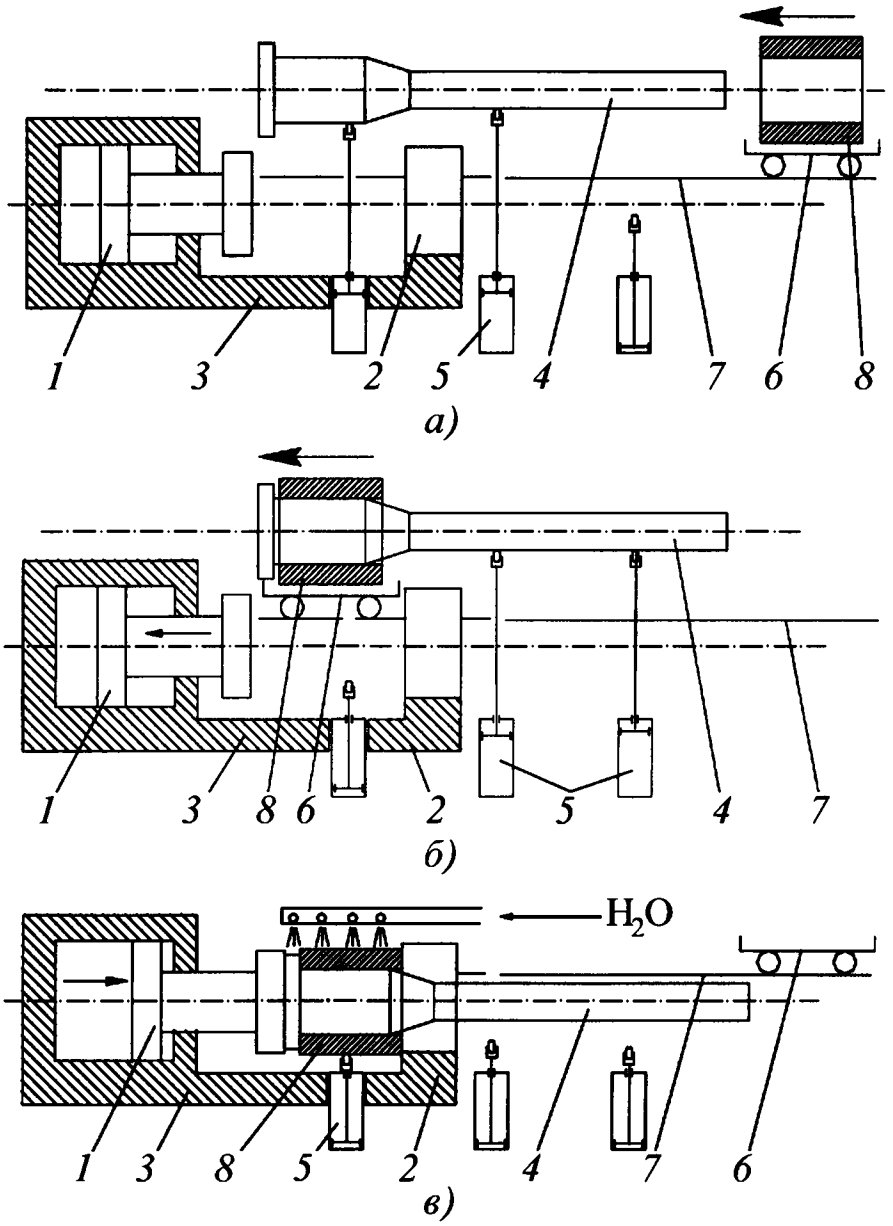


Рис.2.99. Схема работы стенда горячего скрепления трубы с кожухом:
а – труба и кожух готовы для скрепления; *б* – надевание нагретого кожуха на трубу; *в* – удержание кожуха в контакте с буртом трубы и его охлаждение; *1* – поршень главного гидроцилиндра; *2* – U-образный ложемент-упор; *3* – тяги жесткой связи главного гидроцилиндра и ложемента-упора; *4* – скрепляемая труба; *5* – гидроцилиндры опускания и подъема опор трубы; *6* – тележка для надевания на трубу кожуха; *7* – направляющие тележки; *8* – нагретый кожух

После этого поршень главного цилиндра *1* удерживает кожух в контакте с буртом трубы, развивая при этом силу до 5000 кН.

Охлаждение производится водой, подаваемой в коллектор с отверстиями.

При этом вначале охлаждается зона контакта кожуха с буртом трубы (левая по схеме), с тем, чтобы остальная еще горячая часть кожуха сокращалась по направлению к бурту. Охлаждение кожуха и его сокращение сопровождается громкими щелчками.

2.12. Изготовление нарезов в ствольных трубах

2.12.1. Назначение нарезов, требования к ним

Нарезы в канале ствольной трубы, выполненные с определенной крутизной и необходимыми размерами, сообщают снаряду по каналу вращение относительно его оси со значительными угловыми скоростями (1400...3500 рад/сек). Благодаря этому вращению, снаряд приобретает на траектории устойчивость, повышается меткость стрельбы.

В нарезном канале снаряд скользит по нарезам своим ведущим пояском, который изготавливается из пластичных материалов (чаще всего из меди). При достижении определенного давления пороховых газов («форсирования») ведущий поясок снаряда, диаметр которого больше диаметра нарезов, врезается в нарезы. Снаряд начинает движение вдоль оси ствола и за счет образовавшихся выступов на ведущем пояске получает необходимую угловую скорость. Одновременно пластически и упругодеформированный ведущий поясок, прижимаясь ко дну и стенкам нарезов, обеспечивает требуемую обтюрацию.

Для правильного функционирования нарезного канала необходимо при изготовлении нарезов обеспечить ряд точностных требований к их форме, размерам и шероховатости.

Схема образования нарезов и их характерные размеры приведены на рис. 2.100.

В настоящее время большинство систем изготавливают с нарезами постоянной крутизны, ширины и глубины.

Системы с коническим каналом ствола изготавливают с нарезами переменной глубины. Система с нарезами переменной ширины была изготовлена в Японии в 1936 г. (150 мм дальнобойная пушка образца «94»).

В табл. 2.50 приведены требования к нарезам ряда систем.

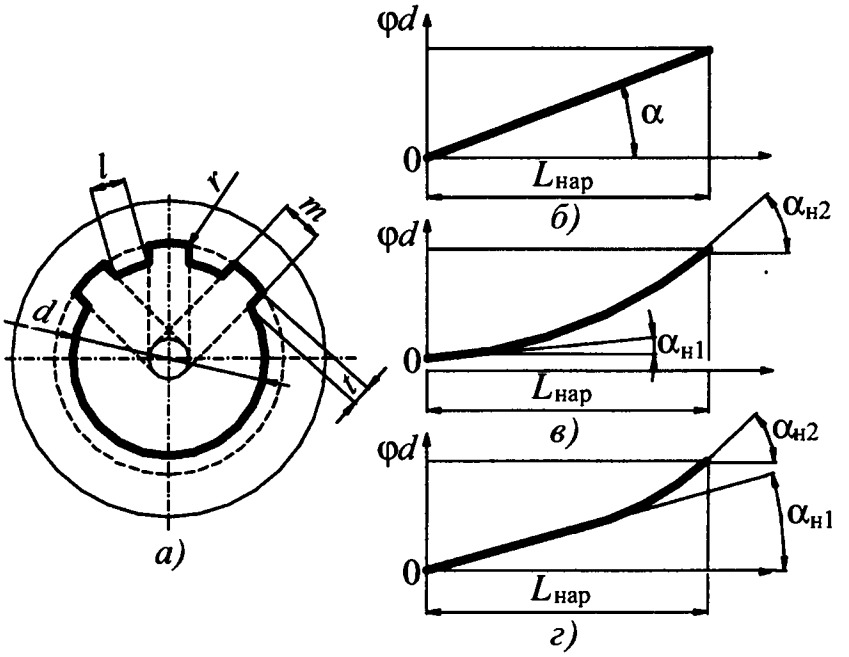


Рис. 2.100. Схема образования нарезов:
а – их характерные размеры; *d* – диаметр по полям (калибр ствола); *l* – ширина поля; *m* – ширина нареза; *t* – глубина нареза; *r* – радиус между дном и гранью нареза; *б*, *в*, *г* – схемы разверток нарезов по крутизне соответственно: постоянной, переменной (прогрессивной), комбинированной

2.50. Требования к точности и шероховатости нарезов ствольных труб

Изделие	Калибр *d*, мм	Число нарезов	Диаметр по дну нарезов $d_{нар}$, мм	Квалитет изготовления размера $d_{нар}$	Глубина нареза *t*, мм
ЗИС-2	57	24	$58{,}8^{+0{,}1}$	H10	$0{,}9^{+0{,}05}$
С-60	57	24	$58{,}8^{+0{,}1}$	H10	$0{,}9^{+0{,}05}$
ЗИС-3	76,2	32	$77{,}72^{+0{,}1}$	H10	$0{,}76^{+0{,}05}$
2-А17	122	32	$126{,}72^{+0{,}1}$	H10	$2{,}35^{+0{,}05}$
М-46	130	40	$135{,}4^{+0{,}15}$	H10	$2{,}7^{+0{,}05}$

Продолжение табл. 2.50

Изделие	Ширина нареза b, мм	Ширина поля a, мм	Радиус сопряжения грани и дна нареза r, мм	Крутизна нарезов α, °
ЗИС-2	4,65±0,2	2,8	0,6	5°58′41″±15′
С-60	5±0,3	2,45	$0,4^{+0,2}$	5°7′45″±10′
ЗИС-3	5,38±0,3	2,1	0,6	7°9′45″±15′
2А-17	7,1±0,3	4,86	1,5	–
М-46	6±0,3	4,2	1,5	5°58′±10′

Изделие	Крутизна нарезов, калибр	Длина нарезной части трубы, мм	Шероховатость дна и граней нарезов Ra, мкм
ЗИС-2	30	3510	2,5
С-60	35	3480	2,5
ЗИС-3	25	2600	1,25
2А-17	–	4712	2,5
М-46	30	5850	2,5

2.12.2. Место операции образования нарезов в технологическом процессе изготовления ствольной трубы. Схемы образования нарезов. Схемы нарезных станков

Нарезы в ствольных трубах калибром более 45 мм в большинстве случаев выполняют строганием. Операция строгания (строжки) нарезов – одна из последних операций при обработке канала. Она производится после чистового растачивания канала и каморы.

Перед нарезанием труба проходит получистовое или чистовое наружное обтачивание. Таким образом, нарезание производят после проведения большей части наиболее трудоемких операций по изготовлению трубы: сверления, растачивание канала и каморы, чистовое растачивание каморы, неоднократной наружной обработки.

Во время строгания нарезов возникают трудно исправимые дефекты (а иногда и неисправимые). Поэтому операция изготовления нарезов требует весьма тщательной отладки станка и технологической оснастки.

Нарезание производится при горизонтальном положении ствольной трубы на специальных нарезных станках. Деталь базируется своей наружной поверхностью в вертлюжном патроне и люнетах, позволяющих

выверить ось канала так, чтобы она с требуемой точностью являлась продолжением оси инструмента и стебля станка. Точность установки детали в месте входа в канал обрабатывающего инструмента 0,05...0,07 мм (несоосность канала и инструмента). Проверяется или плавностью входа нарезательной головки в канал, или при электрохимическом нарезании – гладким калибром-валиком, по которому выверяются канал и заходные втулки для катода.

В некоторых техпроцессах оговаривается зазор между направляющими нарезательной головки и каналом в пределах 0,01...0,03 мм, а биение канала у казенного торца обычно составляет 0,2...0,3 мм.

Нарезы изготавливаются во всех случаях со стороны казенника. При строгании они начинаются в соответствующем конусе каморы.

Кроме строгания и электрохимического способа нарезания каналов ствольных труб применяют на некоторых зарубежных заводах способы:

– протягивание длинными протяжками:

– протягивание однодисковыми протяжками:

– нарезание многорезцовыми головками, работающими на сжатие;

– нарезание однорезцовыми головками с проворотом ствола на шаг между нарезами после каждого двойного хода головки и с подачей резца на глубину после полного оборота детали.

Все эти способы основываются на применении инструмента из быстрорежущей стали, поэтому при повышении категории прочности материала ствола производительность нарезания падает, а в дальнейшем такие способы могут оказаться неосуществимыми. Следовательно, реальный путь производить нарезание при любых прочностных свойствах ствольных труб – вести работы по освоению электрохимического нарезания крупных калибров.

Электрохимическое нарезание стволов малых калибров было разобрано в главе 1, поэтому здесь можно провести некоторые рассуждения о возможных путях электрохимического получения нарезов в каналах средних и крупных калибров.

Если в малокалиберных стволах глубины нарезов измеряются десятыми долями миллиметра, то у средних и крупных калибров эти глубины больше двух миллиметров. При таких размерах нарезов их форма при электрохимическом процессе должна искажаться.

На рис. 2.101 показана примерная схема образования глубоких и широких нарезов.

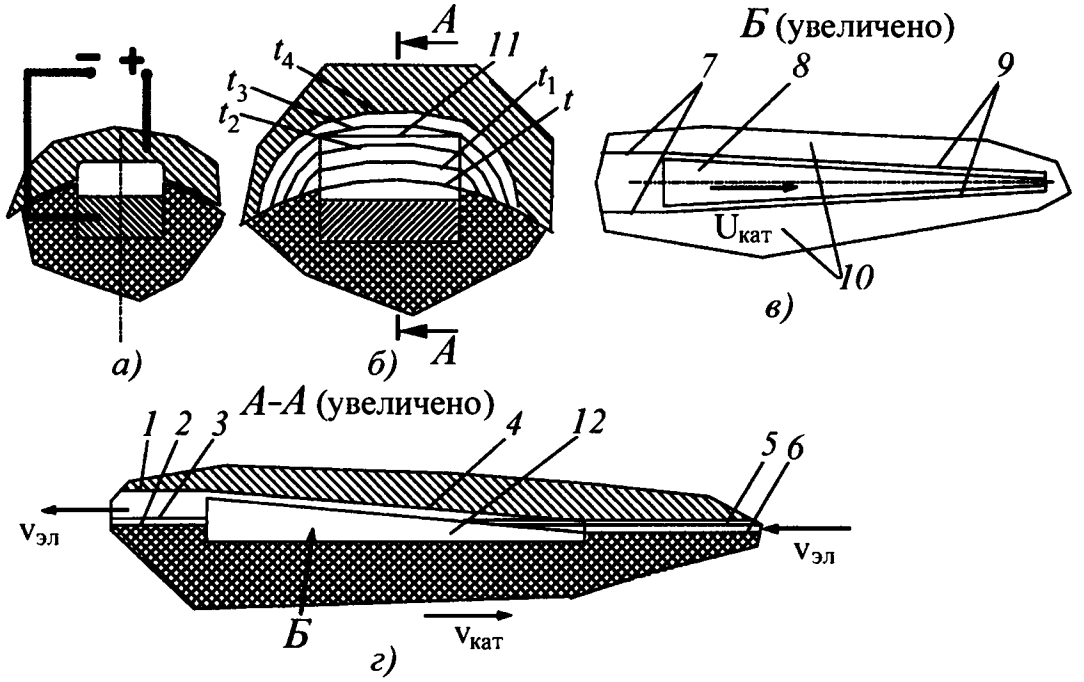


Рис. 2.101. Схема электрохимического получения нарезов в стволах среднего и крупного калибров: *а* – схема желательной формы глубокого и широкого нареза; *б* – схема послойного растворения поверхности канала с глубоким нарезом; *в* – вид ламели катода для изготовления глубокого нареза в плане; *г* – профиль ламели катода при изготовлении глубокого нареза; *t* – начальный профиль канала; $t_1 - t_4$ – промежутки времени при послойном растворении; *1* – окончательная поверхность дна нареза; *2* – поверхность изолятора катода; *3*, *5* – поверхность канала до нарезания; *4* – текущая поверхность дна нареза в процессе нарезания; *6* – поверхность дна канала катода для подачи электролита; *7* – грани глубокого (и широкого) нареза после электрохимического изготовления; *8* – форма ламели катода в плане; *9* – текущие грани нареза в процессе его изготовления; *10* – поверхность канала ствольной трубы; *11* – желаемый профиль дна нареза; *12* – форма ламели сбоку

Электролит подается в зону обработки по каналу между поверхностями *5* и *6* и удаляется за катодом с продуктами растворения.

При показанной форме ламели в плане *8* и сбоку *12* во время процесса обработки зазоры между рабочими поверхностями ламели и текущей поверхностью нареза все время сохраняются постоянными. Таким образом, после прохождения относительно какого-либо сечения канала всей длины катодной ламели, нарез будет получен желаемой формы и размера.

Схема электрохимического получения нарезов в ствольных трубах калибром 57 мм дана на рис. 2.102.

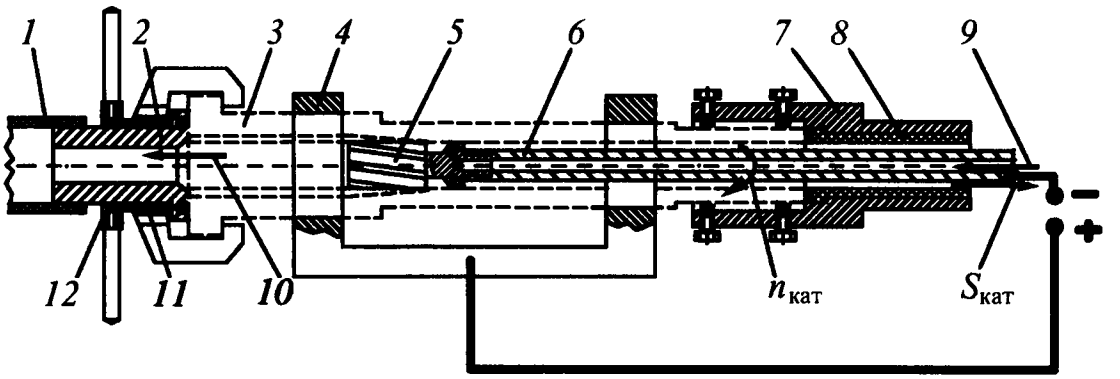


Рис. 2.102. Схема установки для электрохимического нарезания ствольной трубы калибром 57 мм: *1* – шланг слива отработанного электролита; *2* – казенная насадка; *3* – обрабатываемая труба; *4* – ложемент-токоподвод для крепления изделия; *5* – катод; *6* – штанга; *7* – дульная насадка; *8* – электроизоляционная втулка; *9* – поток свежего электролита; *10* – поток отработанного электролита; *11* – скоба крепления казенной насадки; *12* – гайка крепления казенной насадки

Кинематика станков для нарезания средних и крупных калибров такая же, как и для малых: инструмент перемещается возвратно-поступательно и вращается. Сумма этих движений определяет крутизну нарезов.

Сейчас для строжки нарезов на заводах применяются как станки с механическим копиром, так и станки с системами ЧПУ.

Схема станка с механическим копиром приведена на рис. 2.103.

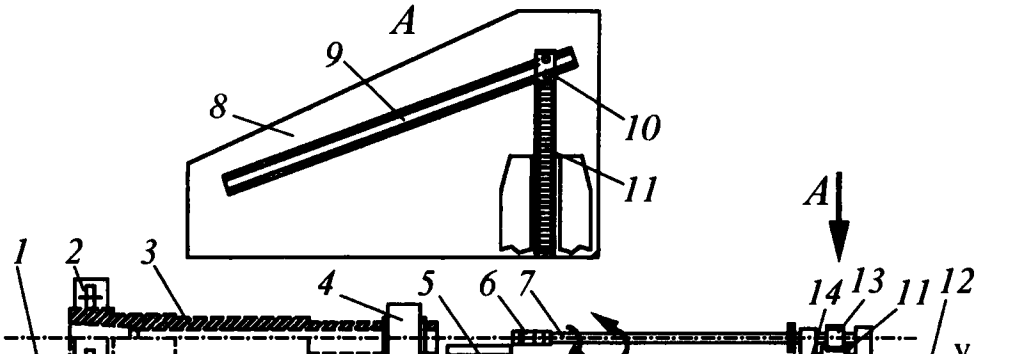


Рис. 2.103. Схема нарезательного станка с механическим копиром: *1* – станина; *2* – трехроликовый люнет; *3* – нарезаемая труба; *4* – вертлюжный патрон; *5* – лоток для нарезательной головки; *6* – нарезательная головка; *7* – штанга; *8* – копирный стол; *9* – копирная линейка; *10* – каретка; *11* – зубчатая рейка; *12* – привод вращения ходового винта; *13* – шестерня; *14* – суппорт

Нарезаемая труба *3* устанавливается в горизонтальном положении казенной частью в обычный люнет *2*, а дульной в вертлюжный патрон *4*. Патрон *4* имеет возможность повернуть зажатую трубу на любое количество градусов относительно ее оси. Это позволяет при количестве нарезов, превышающем число резцов в головке, после получения одной группы нарезов (равным количеству резцов в головке) довернуть трубу на необходимый угол для строжки второй группы, а если надо, и третьей, и четвертой.

Суппорт *14* станка имеет вал с шестерней *13*, которая находится в зацеплении с рейкой *11*. Рейка может передвигаться в направляющих суппорта перпендикулярно оси станка. Рейка на конце имеет каретку *10*, которая своими роликами охватывает копирную линейку *9*. Линейка крепится на столе *8* так, чтобы угол ее наклона к оси станка в сочетании с диаметром шестерни *13* позволял при осевом движении суппорта вращать штангу с нарезательной головкой по траектории нарезов с необходимой крутизной.

При изготовлении нарезов с постоянной крутизной копирная линейка выполняется в виде прямолинейной планки с чисто отшлифованными (Ra = 0,63 мкм) боковыми рабочими поверхностями, имеющими непараллельность порядка 0,05 мм при ширине линейки 60...70 мм. Линейка изготавливается из малоуглеродистой стали (сталь 20), цементуется на глубину 0,8...1,2 мм и термообрабатывается до 60...64 HRC.

При первоначальной наладке станка или опробывании нового инструмента работу станка проверяют на технологических трубах, имеющих те же размеры канала и механические свойства, что и у штатных стволов. Правильность выполнения крутизны нарезов проверяют ежемесячно, контролируя угол поворота штанги на определенной длине хода суппорта. Замеры записываются в специальном журнале.

Ствольные трубы с переменной крутизной нарезов необходимо на станке выставлять точно относительно копира в осевом направлении для обеспечения расчетного угла подъема нарезов в каждом сечении канала.

Операция изготовления нарезов является весьма ответственным делом. Необходимо постоянно контролировать состояние режущих кромок резцов, качественное удаление стружки из карманов нарезательной головки, поэтому присутствие оператора при конце каждого рабочего хода обязательно, а раз есть оператор, то и подача резцов на следующий рабочий проход производится им.

Для экономии цеховой площади, особенно при нарезании длинноствольных труб, применяется копир в виде жесткого цилиндра с наружным винтовым пазом. Копир расположен над станком и вращение рабочей штанге передается от паза копира через систему шестерен. Ствольные

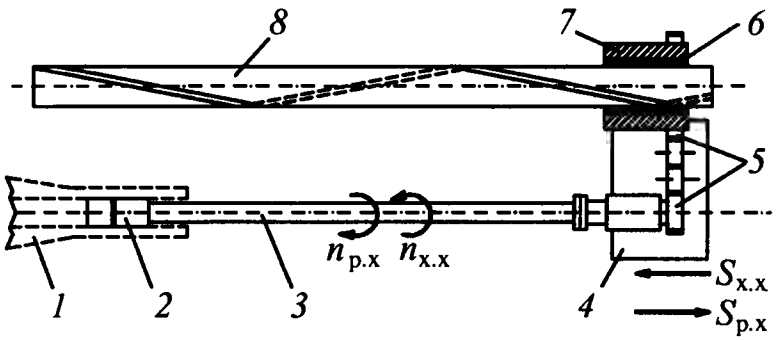


Рис. 2.104. Схема работы винтового копира нарезательного станка:
1 – обрабатываемая деталь; *2* – нарезательная головка; *3* – штанга; *4* – суппорт; *5* – зубчатый редуктор; *6* – бронзовая гайка; *7* – корпус гайки; *8* – копир

трубы с применением такого копира должны иметь нарезы постоянной крутизны. Схема работы винтового копира приведена на рис. 2.104.

На некоторых заводах нарезательные станки оснащены системой ЧПУ. Компоновка таких станков аналогична, но они имеют очень большое преимущество по сравнению со старыми в том, что не требуют большой цеховой площади для копирного стола, копирная линейка отсутствует, а необходимые параметры по обеспечению крутизны нарезов обеспечивает система ЧПУ.

При электрохимическом способе получения нарезов используются те же станки, что и при механическом, но с некоторыми добавочными агрегатами:

– генераторами питания станка постоянным током;

– устройствами для хранения, нагнетания, слива, очистки электролита;

– устройствами для промывки деталей после нарезания и пассивации обработанной поверхности;

– электрической показывающей, управляющей и регистрирующей аппаратурой.

2.12.3. Инструмент для изготовления нарезов

Строгание нарезов ведется специальными нарезательными головками – довольно сложными и точными устройствами с выдвигаемыми резцами. Конструктивных решений нарезательных головок довольно много. Тенденция их развития – повышение производительности за счет увеличения количества одновременно работающих резцов. Но в одном сечении головки в зависимости от калибра ствольной трубы реально размещаются от 8-ми

(d = 57 мм) до 20-ти (d = 152 мм) резцов. Обычно у ствольных труб среднего калибра редко бывает больше 40 нарезов. Но для нарезания этих 40 нарезов приходится строгать трубу в два перехода: сначала одну группу в 20 нарезов, а затем после доворота трубы на станке на угол расположения нарезов – другую группу.

Используются головки, которые нарезают одновременно 40 нарезов, но они выполняются двухрядными. Недостатками таких головок будут увеличенная длина и некоторое нарушение траектории движения резцов при входе в работу второго ряда за счет дополнительного нагружения борштанги-стебля (ее закручивания) и в момент выхода из трубы первого ряда за счет разгрузки борштанги. Кроме того, двухрядными головками нельзя строгать нарезы переменной крутизны из-за возможности получения у соседних нарезов их непараллельности.

На рис. 2.105 дана конструктивная схема однорядной нарезательной головки.

Сложной формы корпус *3* коническим хвостовиком крепится в штанге станка *10*. Корпус изготовлен из высококачественных сталей (38ХМЮА, ОХМА) или углеродистых инструментальных (У8А, ХВГ) и термообработан до 48...50 HRC. Корпус имеет прямоугольные отверстия для резцов, расположенные в одном сечении. Эти отверстия точно обработаны (H7, Ra = 1,25 мкм).

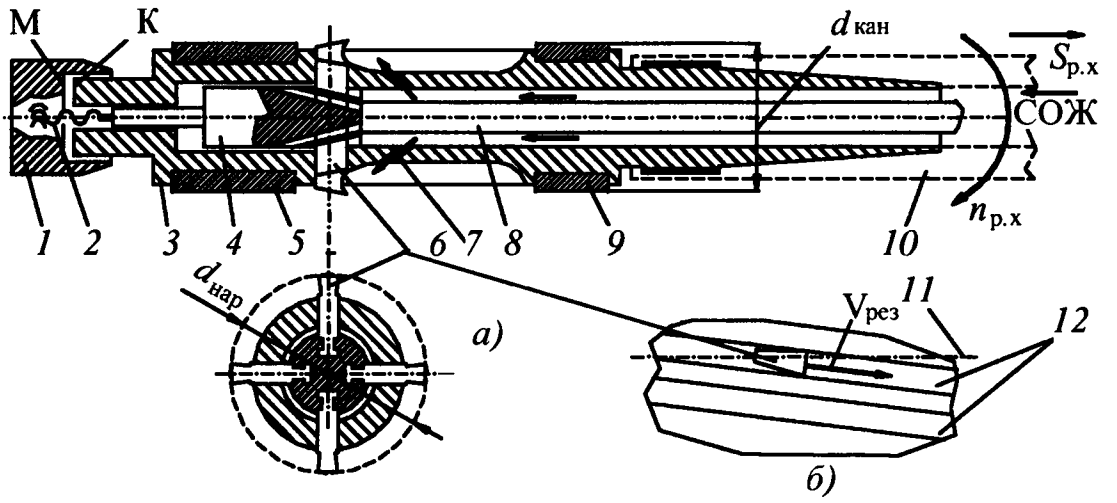


Рис. 2.105. Конструктивная схема однорядной головки для строгания нарезов: *а* – разрез головки; *б* – размещение резца в нарезе при строгании; *1* – гайка подачи резцов с лимбом; *2* – винт подачи резцов; *3* – корпус; *4* – валик с наклонными пазами (валик подачи); *5* – задняя направляющая; *6* – резцы; *7* – отверстие для подачи СОЖ; *8* – штревель; *9* – передняя направляющая; *10* – штанга станка; *11* – ось канала; *12* – нарезы

Внутри корпуса от штревеля *8* вдоль оси перемещаться валик *4* подачи, который имеет Т-образные наклонные пазы. В эти пазы вставляются резцы. При перемещении валика подачи все резцы одновременно в отверстиях корпуса либо выдвигаются по радиусу канала на глубину резания, либо убираются в корпус. Осевые перемещения валика подачи ограничиваются зазором между торцами М и К.

При необходимости выдвижения резцов на глубину резания следующего рабочего прохода гайка *1* поворачивается на винте *2*, что увеличивает зазор между торцами М и К. Гайка *1* имеет лимб, цена деления которого соответствует выдвижению резцов на 0,01 мм. При обратном ходе штанги и головки штревель начинает движение раньше, чем головка. Резцы при этом перемещаются внутрь головки до того, как головка войдет в канал, и задние поверхности резцов не будут тереться о поверхность канала. При рабочем ходе головки опять же штревель выдвигает сначала резцы, а затем головка входит в канал.

Следует отметить требования на состояние направляющих головки. Они изготавливаются из бронзы с посадкой по отношению к каналу H7/f7. После нарезания 10 труб они должны быть переустановлены и обработаны на указанный размер.

Для снимаемой стружки против каждого резца выфрезерован карман. Размещение стружки в таком кармане должно быть свободным, чтобы не образовывались слишком плотные пакеты.

Пакеты стружки здесь получаются чаще всего в виде завитков спирали Архимеда. Объем кармана для нормальной работы головки должен превышать объем снятой стружки в 4...6, а по некоторым рекомендациям даже в 13 раз.

В процессе строгания нарезов к каждому резцу для охлаждения и смазки через отверстия *7* подается СОЖ, в которой основой является минеральное масло. В качестве противозадирных добавок применяют керосин, олеиновую кислоту, рыбий жир.

Резцы для нарезательных головок (рис. 2.106, *а*) изготавливают из сталей Р18, ХВ5 с термообработкой до 64...67 HRC.

В статическом положении угол наклона главной режущей кромки согласуется с крутизной нарезов α (см. рис. 2.100). На рисунке резца он равен 6°±30'. При рабочем ходе головки по винтовой за счет крутизны нареза угол наклона линии приближается к нулю, поэтому лента стружки, сходя по закругленной передней поверхности резца, направляется в карман головки. Поверхности резца, по которым он базируется в корпусе, выполняют с посадкой H7/g6.

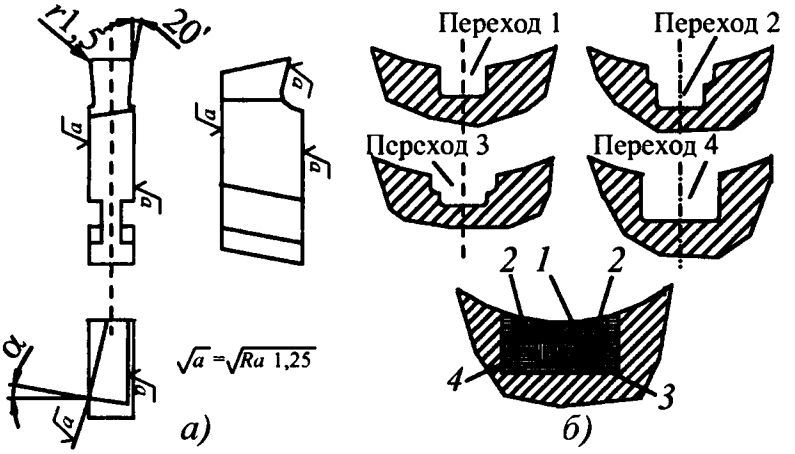


Рис. 2.106. Получение нареза: *а* – резец для строгания нарезов; *б* – схема строгания глубоких, широких нарезов; *1–4* – нарезы после работы соответствующего резца

Резцы изготавливаются комплектом с запасом в один резец на ряд, нумеруют по гнездам головки и после переточек ставят в эти же гнезда. Съем металла при переточке должен быть одинаков для всех резцов комплекта.

Правильность установки и заточки резцов проверяется калибром-кольцом. Кольцо надевается на головку, и резцы выдвигаются до соприкосновения с ним. Зазор между кольцом и режущими кромками резцов, которые не касаются кольца, не должен превышать 0,02 мм.

В большинстве случаев строгание нарезов производится на полную их ширину от первого до последнего прохода. Но при изготовлении нарезов крупнокалиберных систем, которые имеют нарезы широкие и глубокие, применяют схему многопереходной обработки (рис. 2.106, *б*). На схеме показан процесс получения нареза за четыре перехода.

Нарезательная головка крепится на стебле станка – жесткой трубе (рис. 2.107).

Фланцем *7* стебель *6* крепится к валу суппорта станка. В переходный конус вставляется хвостовик головки и головка притягивается к конусу гайкой *1*. Штревель *8* (см. рис. 2.105) головки соединяется болтом *3* (рис.2.107) с внутренним стеблем *4*, который при рабочем ходе головки выдвигает, а при обратном – убирает резцы.

Основной стебель *6* нагружен растягивающей силой и крутящим моментом. В зазор между основным и внутренним стеблями подается СОЖ.

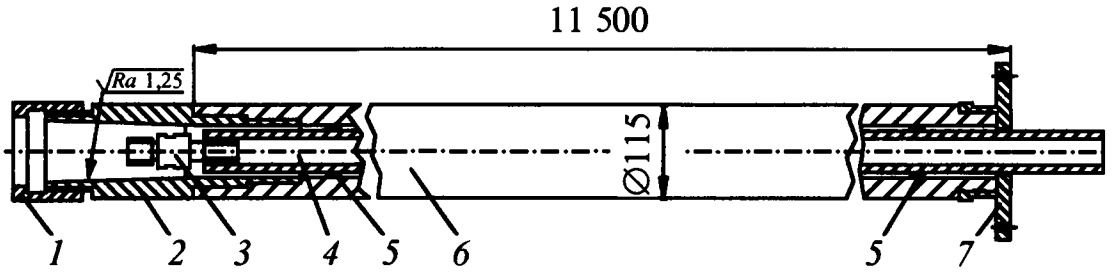


Рис. 2.107. Стебель нарезательной головки: *1* – гайка крепления головки на стебле; *2* – переходный конус; *3* – соединительный болт; *4* – внутренний стебель штревеля; *5* – центрирующие кольца; *6* – стебель основной; *7* – фланец

Ранее было сказано, что при использовании двухрядной головки возможны за счет приложения дополнительного крутящего момента к стеблю искажения формы нарезов. Так же искажение формы нарезов может происходить при изменении глубины резания при последующем проходе вследствие ошибочной установки подачи.

Наиболее распространенные дефекты при нарезании каналов многорезцовыми головками:

– подрезка боковых граней полей из-за неправильного затачивания резцов и подачи резцов не строго в радиальном направлении;

– неравномерность начала нарезов в конусе каморы из-за эксцентричности или овальности этого конуса, а также из-за разной высоты резцов в головке. Неравномерность начала нарезов допускается до 3 мм. Это сказывается на эксплуатационных свойствах ствола;

– искривление полей нарезов из-за износа или грязи на копирной линейке;

– неравномерная ширина определенной группы полей («разгон полей») при неправильном делении (провороте ствола) после одного цикла нарезания головкой с меньшим числом резцов, чем число нарезов;

– подхваты и надиры нарезов из-за вибрации головки или резцов при изношенных направляющих головки и резцов;

– царапины на полях от попавшей между направляющими головки и поверхностью канала стружки и грязи;

– срезание полей при самопроизвольном проворачивании нарезаемой трубы в патроне (из-за плохого закрепления).

Инструментом для электрохимического нарезания ствольных труб является катод, конструктивная схема которого дана на рис. 2.108.

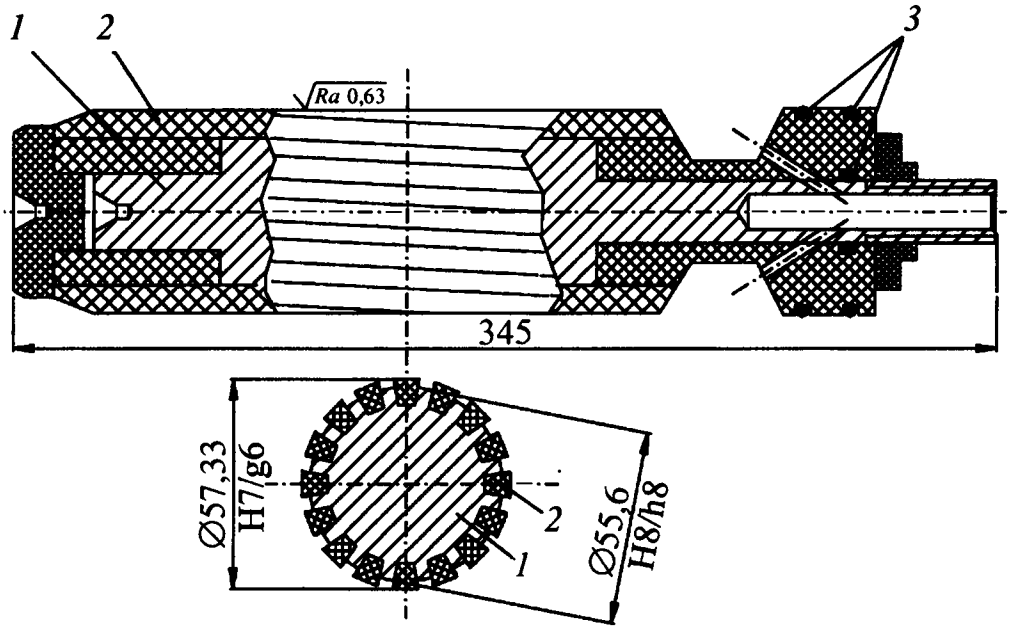


Рис. 2.108. Конструктивная схема катода для электрохимического нарезания ствольных труб калибром 57 мм:
1 – рабочая токопроводящая часть катода; *2* – изолирующие вставки; *3* – уплотнения

Рабочая токопроводящая часть катода выполнена из латуни, и на наружной поверхности ее профрезерованы винтовые пазы в количестве, равном числу нарезов, в которые вклеены пластины из оргстекла с шириной поля нареза. Изолирующие пластины протачиваются с определенной шероховатостью и точностью. Угол закрутки пазов соответствует крутизне нарезов.

Между изолирующими пластинами рабочая часть катода образует так называемые ламели, ширина которых равна ширине нарезов. Через центральный канал катода и отверстия в зазоры между ламелями и поверхностью трубы подается электролит.

Такой катод был применен для нарезания ствольной трубы системы ЗИФ72.

Компоновочная схема установки для ЭХО нарезов d = 57 мм была рассмотрена выше (см. рис. 2.102).

На катод отрицательное напряжение поступает через штангу *1* (рис. 2.109), которая представляет собой латунную (или медную) трубу, на которую надет изолирующий резиновый чехол *2* для предотвращения возможных утечек тока.

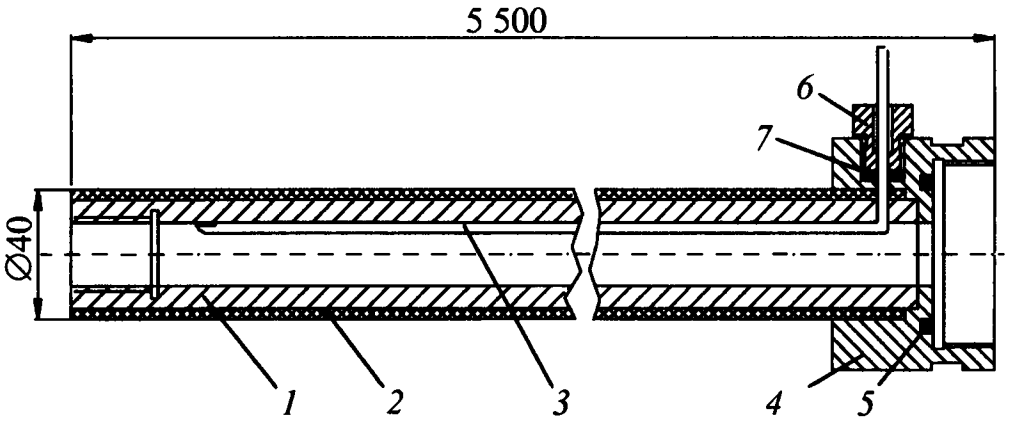


Рис. 2.109. Конструкция штанги для крепления катода при электрохимическом нарезании ствольных труб калибром 57 мм: *1* – штанга; *2* – резиновый чехол; *3* – электропроводник; *4* – гайка крепления к суппорту; *5* – уплотнение; *6* – проходной штуцер электропроводника; *7* – уплотнение

Внутри штанги помещен проводник, конец которого припаян на возможно близком расстоянии к катоду. Это позволяет получить более точную информацию об электрических параметрах процесса ЭХО.

Процесс ЭХО нарезов начинается с казенной части ствола до растачивания каморы (строгание нарезов, как говорилось выше, производится при расточенной каморе). В начале движения катода по каналу ствола нарезы получаются неполного профиля, и эта дефектная часть удаляется последующим растачиванием каморы.

Для слива отработанного электролита и уплотнения катода при его выходе из канала на ствольную трубу крепят насадки (см. рис. 2.102): *2* – казенную и *7* – дульную.

Казенная насадка крепится на трубе скобой *11* и закручиванием ее гайки *12* она уплотняется по казенному торцу трубы.

Дульная насадка при помощи установочного калибра центрируется по каналу трубы (калибр выполняется по H8/g9 с длиной 350 мм). После центрирования насадка крепится на трубе болтами.

Переходы процесса ЭХО нарезов в главе 1 рассмотрены достаточно подробно. Здесь только стоит отметить действия после ЭХО. Оператор вместо казенной насадки надевает подобную насадку со шлангом большего диаметра для промывки трубы сначала холодной водой, а затем подогретой пассивирующей жидкостью. После этого канал продувается воздухом, насадки снимают. Канал насухо протирают ветошью, марлей, осматривают, обмеряют и смазывают.

2.12.4. Режимы нарезания каналов ствольных труб. Применяемые жидкости. Затраты времени на операцию нарезания каналов ствольных труб

Режимы получения нарезов в ствольных трубах строганием представлены в табл. 2.51.

Режимы получения нарезов в ствольной трубе d = 57 мм электрохимическим способом даны в табл. 2.52.

2.51. Режимы получения нарезов в ствольных трубах строганием

Изделие	Калибр d, мм	Число нарезов z	Глубина нареза t, мм	Материал трубы
ЗИС-2	57	24	0,9	ОХН3М
С-60	57	24	0,9	ОХН3МФ
ЗИС-3	76,2	32	0,76	ОХН1М
2А-17	122	32	2,36	ОХН3МФА
М-46	130	40	2,7	ОХН3МФА

Изделие	Категория прочности трубы	Число нарезов, обрабатываемых одновременно	Скорость резания $v_{раб}$, м/мин	Подача резца, мм/дв. ход
ЗИС-2	О-800	8	3,4	0,02
С-60	О-800	8	3,4	0,025
ЗИС-3	–	16	4,4	0,03…0,08
2А-17	О-1000	32*	6 (предварительное) 5,2 (чистовое)	0,03
М-46	О-800	40	3,25	0,018

*За два перехода.

2.52. Режимы получения нарезов в ствольной трубе электрохимическим способом

Рабочее напряжение, В	Сила тока, А	Скорость протекания электролита, $v_{эл}$, м/с	Скорость движения катода $v_{кат}$, м/мин
10...15	2200...2250	6...12	60...65

Кислотность электролита, pH	Плотность электролита, г/см^3	Температура пассивирующей жидкости, °С
7...10	1,11...1,18	60...80

Электролит – 20-процентный раствор NaCl в воде. Проверка электролита на пригодность (по плотности) производится через каждые три дня с записью в цеховом журнале, pH проверяется ежедневно.

После проведения ЭХО, как уже говорилось, канал промывается водой и пассивирующей жидкостью, состав которой:

мыло хозяйственное ..... 10...15%
сода кальцинированная ..... 2...2,5%
вода ..... остальное

В пассивирующую жидкость добавляются древесные опилки из расчета 15...20 дм^3 опилок на 600 литров жидкости для более качественного удаления с поверхности канала продуктов ЭХО.

Пассивирующая жидкость меняется после нарезки 30 труб.

Смазывающе-охлаждающие жидкости при строгании нарезов содержат:

масло соляровое 68%
сульфофрезол 30%
кислота олеиновая 2%

или

керосин 80%
рыбий жир 20%

Добавка олеиновой кислоты или рыбьего жира позволяет получать нарезы с весьма высокими требованиями по шероховатости и повышать стойкость резцов.

В качестве СОЖ при строгании нарезов применяют сейчас жидкости МР-4 и МР-7, а в некоторых случаях для более высокого качества полу-

чаемой поверхности – растительные масла (сурепное, подсолнечное), но высокая стоимость ограничивает их широкое применение.

Затраты времени при получении нарезов представлены в табл. 2.53.

2.53. Затраты времени при получение нарезов

Изделие	Калибр d, мм	$T_{шт}$, мин	$T_{маш}$, мин	$T_{воп}$, мин	$T_{уст}$, мин	$T_{маш}/T_{шт}$, %	$T_{уст}/T_{шт}$, %
С-60	57	332	180	136	45	54	13,5
ЗИФ-72*	57	160	–	–	–	–	–
ЗИС-3**	76,2	100	55	37	12,5	55	12,5
2А-17	122	530	379	124	14	71	2,6
М-46	130	600	471	90	30	78	5

* Образование нарезов производится электрохимическим способом.

**Режимы приведены для технологического процесса военного времени (1941 – 1945 гг.).

Производительность электрохимического нарезания примерно в два раза выше классического строгания.

2.13. Чистовая обработка канала и каморы

Нормальное функционирование стволов артиллерийских систем в значительной степени зависит от точности обработки и шероховатости поверхности канала и каморы.

Эти требования обеспечиваются рядом технологических процессов: хонингованием, раскатыванием, полированием.

2.13.1. Требования к точности диаметров и шероховатости поверхности каналов стволов. Процессы, применяемые для их чистовой обработки

Основные требования по шероховатости и точности каналов стволов и чистовые процессы их изготовления приведены в табл. 2.54.

Из этой таблицы видно, что для гладких каналов ствольных труб наряду с хонингованием методом чистовой обработки является раскатывание. Для нарезных стволов хонингование применяется всегда.

2.54. Требования к точности и шероховатости внутренней поверхности каналов ствольных труб и обеспечивающие их методы

Изделие	Калибр, мм	Допуск на изготовление канала, мм	Квалитет	Параметр шероховатости канала (полей) *Ra*, мкм
ЗИС-2	57	0,1	H9	1,25
С-60	57	0,1	H9	0,63
ЗИС-3	76,2	0,1	H9	1,25
2А-17	122	0,15	H9	0,63
М-46	130	0,15	H9	0,63
2А-20	115	0,15	H9	0,63

Изделие	Применяемые процессы				
	Раскатывание	Хонингование гладкого канала	Хонингование полей	Полирование полей и нарезов	Ручная доводка полей и нарезов
ЗИС-2	–	–	21	22	30
С-60	–	13	18	–	47*
ЗИС-3	–	–	–	11; 22	–
2А-17	–	4**	25**	26*	–
М-46	–	–	23	–	–
2А-20	10	9**	–	–	–

*Операция производится в отдельных случаях по требованию контроля.

**Операция выполняется после скрепления трубы с кожухом.

Примечание. Номера в графе «Применяемые процессы» соответствуют порядковым номерам операций в технологических процессах.

2.13.2. Последовательность выполнения чистовых операций обработки канала. Принципы базирования детали и применяемые для этих операций станки

Номера операций в маршрутном техпроцессе, приведенные в табл. 2.54, показывают, что операции чистовой обработки канала проводятся после того, как канал расточен, проведено скрепление с кожухом и, чаще всего, нарезы изготовлены. Все чистовые операции обработки каналов ствольных труб производятся в горизонтальном положении детали. Для раскатывания каналов используются те же станки, что и для растачивания или сверления каналов ствольных труб (см. рис. 2.67 и 2.68). Базируется деталь на станке при раскатывании по наружной поверхности в патроне вертлюжного типа (казенная часть) и в люнете (дульная часть). Выверка горизонтального положения трубы ведется по каналу при помощи индикаторов. Допустимые биения канала 0,05...0,1 мм. Раскатывание канала производится с казенной части трубы до растачивания каморы, при этом изделие вращается, а раскатная головка имеет осевую подачу. Хонингование каналов ведется на горизонтально-хонинговальных станках для глубоких отверстий. Компоновочная схема хонинговального станка (РТ621) показана на рис. 2.110.

Станок имеет следующие технические характеристики:

наружный диаметр обрабатываемой детали, мм	130...400
длина обрабатываемой детали, мм	1400...8000
диаметры обрабатываемых отверстий, мм	100...240
скорость возвратно-поступательного перемещения хонинговальной бабки, м/мин	3...30
регулирование скорости перемещения хонинговальной бабки	бесступенчатое
частота вращения шпинделя бабки изделия, об/мин	5...80
частота вращения стебля, об/мин	40...250
дозированная подача брусков за двойной ход бабки (с шагом 0,005 мм), мм	0,005...0,05
расход СОЖ, л/мин	200
давление СОЖ, МПа	до 1,0
мощность привода бабки стебля, кВт	18,5
габариты станка (длина × ширина × высота), мм	25845 × × 4720 × 1765
масса станка, кг	30000

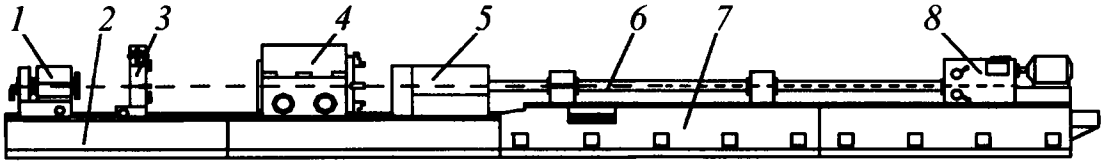


Рис. 2.110. Горизонтально-хонинговальный станок типа РТ621:
1 – опорная задняя бабка для изделия с подводом СОЖ; *2* – станина закрепления изделия; *3* – люнет для изделия; *4* – вертлюжная шпиндельная бабка для закрепления и вращения изделия; *5* – лоток для хонголовки; *6* – стебель (штанга) хонголовки; *7* – станина с направляющими для хонинговальной бабки; *8* – хонинговальная бабка

Кинематика такого станка следующая: изделие, закрепленное в вертлюжной шпиндельной бабке *4*, люнете *3* и опорной задней бабке *1* имеет постоянное вращение с относительно небольшим числом оборотов. Хонинговальная головка, закрепленная на стебле *6*, вращается (с большим числом оборотов, чем у изделия и встречно ему) от бабки *8*.

Кроме этого, хонинговальная головка от бабки *8* получает еще возвратно-поступательные движения. Такая кинематика создает сетку из царапин-следов абразивных зерен на поверхности канала.

Базирование деталей на станке при хонинговании производится в вертлюжном люнете (чаще дульной частью) и в обычном трехроликовом люнете. Точность выверки детали, благодаря шарнирному соединению хонинговальной головки со штангой, относительно невелика: биение канала допускается до 0,2...0,5 мм. Хонингование каналов с расточенной каморой производится с дульной части.

Для полирования каналов по полям и нарезам используются станки, имеющие возвратно-поступательные перемещения суппорта со штангой.

В настоящее время операция полирования канала применяется крайне редко. Типовая конструкция полировальника для нарезного канала показана на рис. 2.119 (с. 284).

Базирование детали при полировании производится по наружной поверхности в двух люнетах. Деталь в этом случае неподвижна. Полировальная головка, закрепленная на штанге, имеет возвратно-поступательное и вращательное движения.

Полировальная головка вводится в ствольную трубу с дульной части.

Для проведения слесарной доводки местных дефектов канала или нарезов, трубы кладутся на две роликовые призмы, подобные показанным на рис. 2.111.

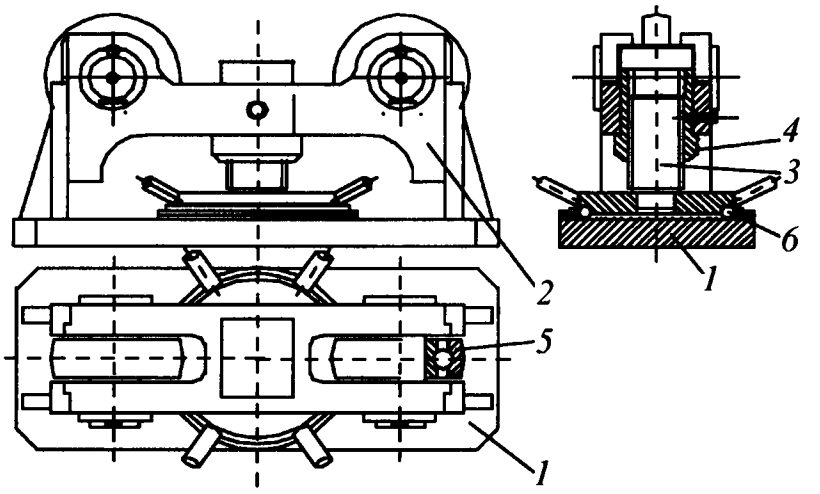


Рис. 2.111. Роликовая призма: *1* – корпус; *2* – траверса; *3* – винт со штурвалом; *4* – гайка; *5* – ролик-опора; *6* – опорные шарики

Роликовые призмы позволяют слесарю относительно легко наклонять и поворачивать трубу в нужное положение вручную.

Примеры инструмента для местной слесарной доводки канала показаны на рис. 2.120 (с. 285).

2.13.3. Конструкции инструментов для чистовой обработки каналов ствольных труб

2.13.3.1. Раскатывание

На рис. 2.112 представлена конструкция двухроликовой головки для раскатывания глубоких отверстий.

Корпус *4*, имеющий хвостовик с посадочными цилиндрическими поясками и резьбой, крепится на штанге. Ролики *7*, сидящие на игольчатых подшипниках, под действием клина *5* расходятся в радиальном направлении и давят на обрабатываемую поверхность канала. Это давление роликов задается и поддерживается на необходимом уровне величиной поджатия пружины *3*. Поджатие пружины *3* производится ввертыванием или (вывертыванием) стакана *2* в корпус *4*. Гайки *1* и кольцевая пружина *9* предотвращают чрезмерное раскрытие роликов соответственно от пружины *3* и от силы тяжести. На рабочее место головка поступает уже настроенной на определенное усилие раскатывания.

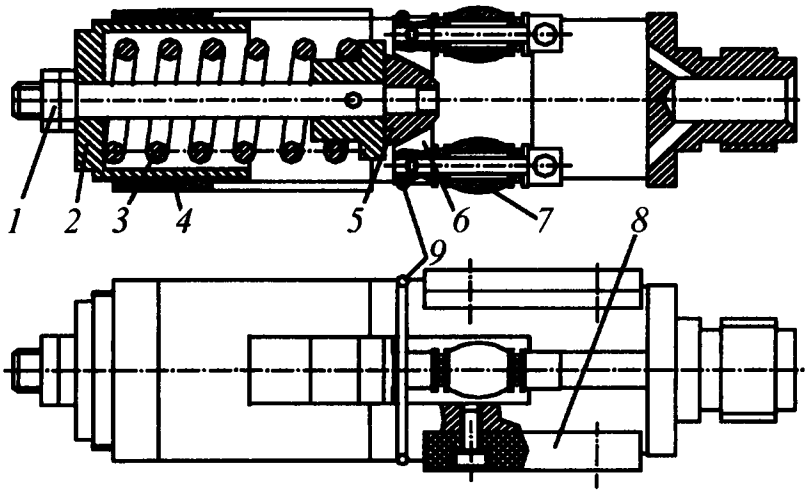


Рис. 2.112. Двухроликовая головка для раскатывания каналов труб:
1 – гайка; *2* – стакан; *3* – пружина; *4* – корпус; *5* – клин; *6* – призма; *7* – ролик; *8* – резиновая направляющая; *9* – кольцевая пружина

При раскатывании корпус головки работает на сжатие. Центрирование головки в канале осуществляется направляющими *8* (из маслобензостойкой резины).

Направляющие по наружной поверхности обрабатываются после сборки их с корпусом в размер, превышающий по диаметру раскатываемый канал на 2...3 мм.

Нормальное функционирование головки зависит в основном от работы раскатных блоков с роликами.

Призмы *6* и оси роликов в пазах корпуса головки собираются по посадке H9/h9.

Наиболее ответственными деталями являются ролики. Они изготавливаются из подшипниковой стали ШХ15, термообрабатываются до 60...65 HRC.

Биение поверхности профиля ролика относительно оси внутреннего отверстия допускается до 0,01мм. Наружная тороидальная поверхность выполнена с шероховатостью Ra = 0,63 мкм. Причем, в технологических процессах оговаривается обязательная проверка состояния поверхности роликов после раскатывания 8...10 труб и принудительная их смена и перешлифовка после обработки определенного количества труб.

В настоящее время применяются для раскатывания каналов труб головки с коническими роликами (рис. 2.113) или с шариками.

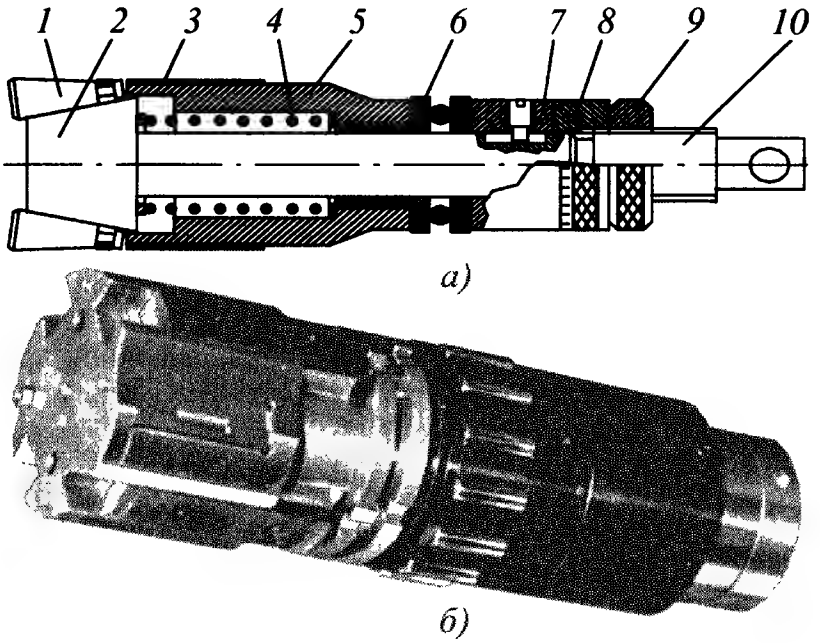


Рис. 2.113. Головки для раскатывания каналов труб коническими роликами:
а – роликовая раскатка; *б* – роликовая раскатка, совмещенная с плавающей расточной пластиной; *1* – конические раскатные ролики; *2* – опорный конус; *3* – сепаратор; *4* – пружина; *5* – корпус головки; *6* – упорный подшипник; *7* – кольцо с лимбом; *8* – гайка; *9* – контргайка; *10* – хвостовик

Работают они на сжатие. Регулировка диаметра раскатываемого отверстия производится кольцом с лимбом, которое перемещает через корпус и сепаратор раскатные ролики (шарики) на нужный размер. Конус выполняется из высококачественной стали со строго обработанной опорной поверхностью для раскатных элементов.

Такая конструкция раскатных головок по сравнению с двухроликовой существенно легче и производительней в 5...6 раз. Последнее достигается за счет большего числа раскатных элементов.

На рис. 2.113, *б* дано изображение весьма прогрессивной головки, которая совмещает в одном проходе растачивание канала плавающей пластиной (роймой) и раскатывание.

В технологических картах на операцию раскатывания оговаривается категорическое требование аварийного выключения вращения детали в случае остановки подачи, в то время, когда раскатная головка находится в канале. В противном случае, возможно образование роликами кольцевых углублений, выводящих трубу в брак.

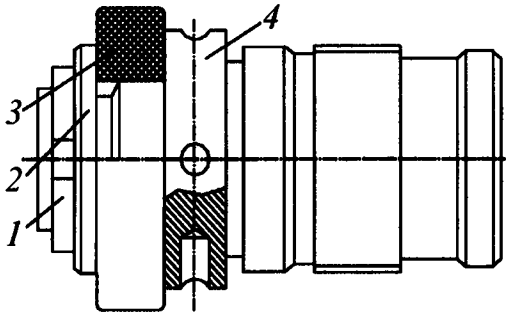


Рис. 2.114. Протирочная оправка:
1 – гайка; *2* – шайба;
3 – резиновое кольцо;
4 – корпус оправки

После раскатывания канала раскатная головка свинчивается и на штангу крепится протирочная оправка (рис. 2.114) с кольцом *3* из маслобензостойкой резины. Кольцо *3* по наружному диаметру выполняется полнее канала на 0,5...1,0 мм.

При раскатывании применяются те же штанги, что и для растачивания и сверления (см. рис. 2.41).

Особые требования должны быть предъявлены к фильтрации СОЖ, которая через штангу поступает к раскатным элементам.

Попадание частиц грязи на рабочие поверхности раскатных элементов приведет к отпечатыванию их на поверхности канала.

2.13.3.2. Хонингование

Хонингование каналов ствольных труб производится трех-, двух- и даже однорядными головками. В зависимости от калибра хонингуемого канала количество брусков в каждом ряду различно. Для каналов калибром 57...76 мм число брусков в ряду 4, для калибров 80...152 мм число брусков в ряду 6.

В настоящее время применяются головки, у которых рабочее давление на бруски сообщается пружиной (старые головки) или гидравлическим цилиндрическим механизмом. Последняя схема более современна.

Конструкция трехрядной хонинговальной головки, работающая с гидравлическим разжимом брусков, представлена на рис. 2.115.

Корпус *19* головки имеет три ряда окон, расположенных в шахматном порядке, в которых по посадке H8/f9 размещены стальные колодки *17*. На колодки ставятся приклеенные к тонким стальным основаниям бруски *16*.

От выпадания в процессе работы (до ввода головки в канал) колодки с брусками удерживаются пружинами *15*. Колодки *17*, изготовленные из сталей У8...У10 и термообработанные до твердости 60...65 HRC, опираются на конические поверхности валика *18* подачи. Валик подачи также изготавливается из сталей У8...У10 и термообрабатывается до 52...57 HRC. При перемещении валика *18* подачи вдоль оси головки все колодки *17* с брусками будут перемещаться в радиальном направлении.

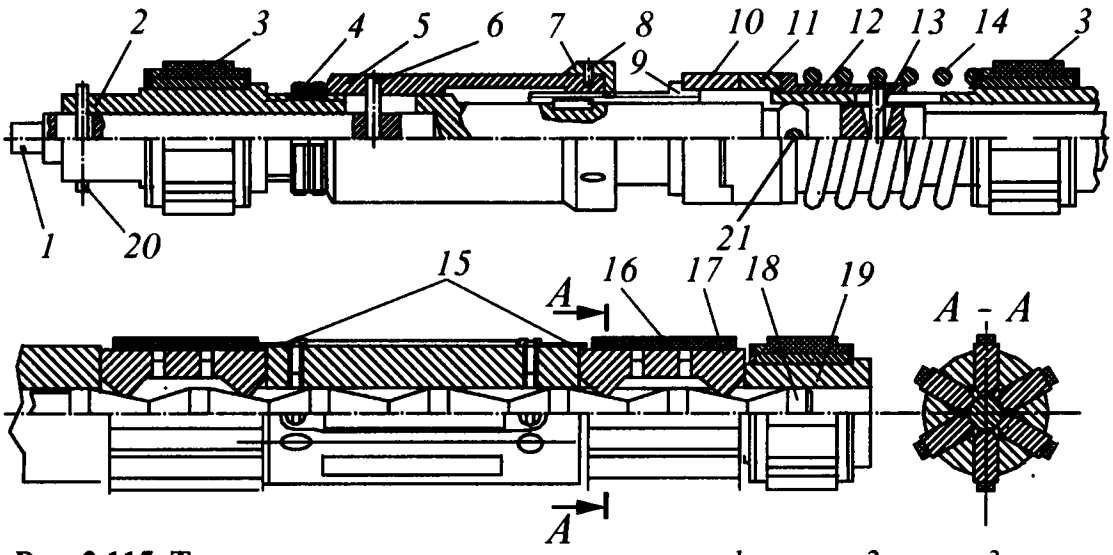


Рис. 2.115. Трехрядная хонинговальная головка: *1* – шток; *2* – тяга; *3* – опоры направляющие; *4*, *7* – гайки; *5*, *9*, *12* – втулки; *6*, *13* – пальци; *8* – винт; *10*, *11* – полумуфты; *14*, *15* – пружины; *16* – брусок; *17* – колодка; *18* – валик подачи; *19* – корпус головки; *20*, *21* – штифты

Рабочие (возвратно-поступательное и вращательное) перемещения корпуса *19* головки с брусками передаются от штанги станка штифтом *20* на тягу *2* и штифтом *21* – на корпус *19*.

Осевое перемещение валика *18* подачи происходит по более сложной цепочке деталей. От гидроцилиндра станка смещается вправо шток *1* с пальцем *6*. Палец *6* при этом перемещает вправо втулку *5* и через гайку *7* втулку *9*. Через полумуфты *10*, *11* и втулку *12* это перемещение передается пальцу *13* и валику *18* подачи. Пружина *14* постоянно выбирает люфты во всех соединениях, а при выключении гидроцилиндра станка, который сообщил рабочее нагружение брускам, возвращает все детали в исходное положение, тем самым прекращая рабочий контакт брусков с поверхностью изделия.

При задании рабочей подачи брусков *16* в радиальном направлении производится вращение гайки (с лимбом) *7*. В гайке *7* закреплен винт *8*, который свободно перемещается по кольцевой канавке на втулке *5*, фиксируя гайку *7*. Гайка *7*, поворачиваясь на втулке *5* через резьбовое соединение, перемещает втулку *9*, что приводит к осевому перемещению валика *18* подачи.

Для поддержания головки в канале при заходе и выходе она снабжена текстолитовыми или бронзовыми опорами – направляющими *3*, которые свободно вращаются на шейках тяги *2* и корпуса *19*.

Для свободного прохождения СОЖ и вымывания продуктов процесса из канала эти опоры-направляющие имеют продольные профрезерованные пазы.

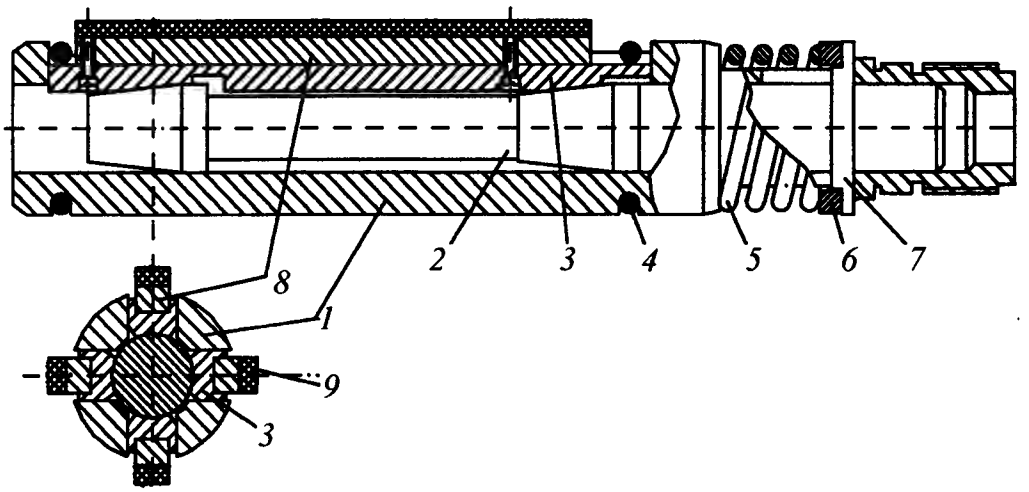


Рис. 2.116. Однорядная хонинговальная головка: *1* – корпус; *2* – валик подачи; *3* – колодки; *4* – кольцевая пружина; *5* – пружина возврата валика подачи; *6* – кольцо; *7* – штифт; *8* – основание брусков; *9* – бруски

В настоящее время применяются для хонингования глубоких каналов и однорядные головки (рис. 2.116).

В корпусе *1* по посадкам H7/g6 вставлены колодки *3*. От выпадения они удерживаются пружинами *4*. Подача брусков *9* на необходимый размер и создание удельного давления брусков на обрабатываемую поверхность производится от гидроцилиндра станка через шток, который перемещает валик подачи *2* (по схеме влево).

Возврат валика подачи осуществляет пружина *5*.

Как видно из чертежа, такая конструкция хонинговальных головок существенно проще в изготовлении и обслуживании (при смене брусков, в частности). Кроме того, практика показала и более точное исполнение каналов такими головками за счет отсутствия зон неравномерной обработки, получаемых из-за разнесения рядов хонов в многорядных головках.

Хонинговальные головки на штанге чаще всего крепятся в сухарном замке, который передает через штифт хвоста головки крутящий момент и осевые усилия. Этот замок имеет двойной шарнир. Таким образом, головка на штанге имеет возможность угловых перемещений в двух плоскостях.

Головка, показанная на рис 2.116, крепится в шарнире на резьбе.

При выходе из хонингуемого канала головка опирается на специальный лоток (рис. 2.117).

Вкладыш *3* лотка – сменный. Внутренний диаметр его на 2...3 мм больше рабочего диаметра хонинговальной головки. Точность установки лотка относительно обрабатываемого канала невелика – 0,5...1,0 мм. Благодаря фаскам на передней направляющей головки и шарнирному креплению головки и штанги, хонинговальная головка с лотка самонаправляется в канал.

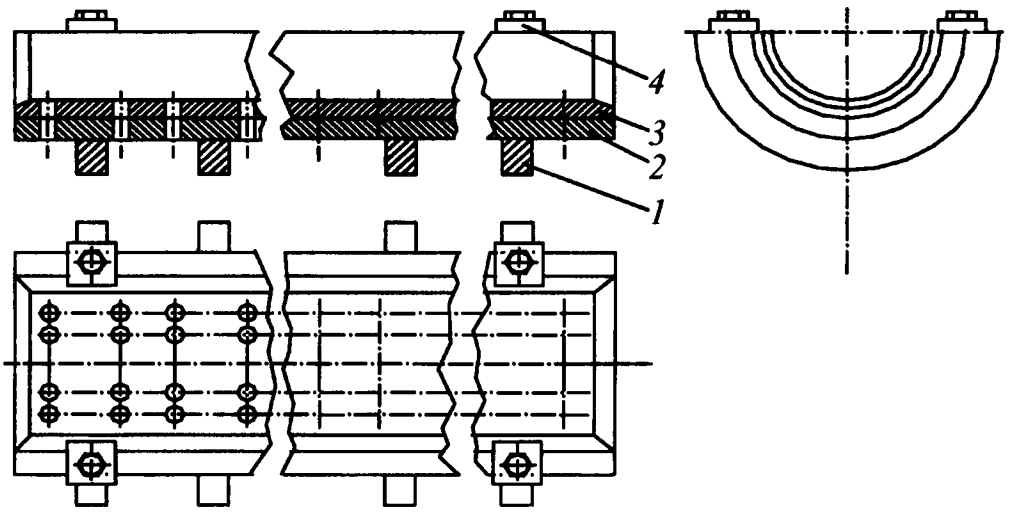


Рис. 2.117. Лоток хонинговального станка: *1* – опора; *2* – корпус; *3* – вкладыш; *4* – планка крепления вкладыша

Для предохранения штанги от соприкосновением с обрабатываемым каналом при работе, на нее надевают свободно вращающиеся текстолитовые или капроновые втулки, которые на наружной поверхности имеют продольные пазы значительного сечения, через которые свободно проходит СОЖ и продукты обработки.

Подача СОЖ в канал осуществляется через насадок, закрепленный на противоположном заходному торцу канала. Конструкция такого насадка проста и понятна из рис. 2.118.

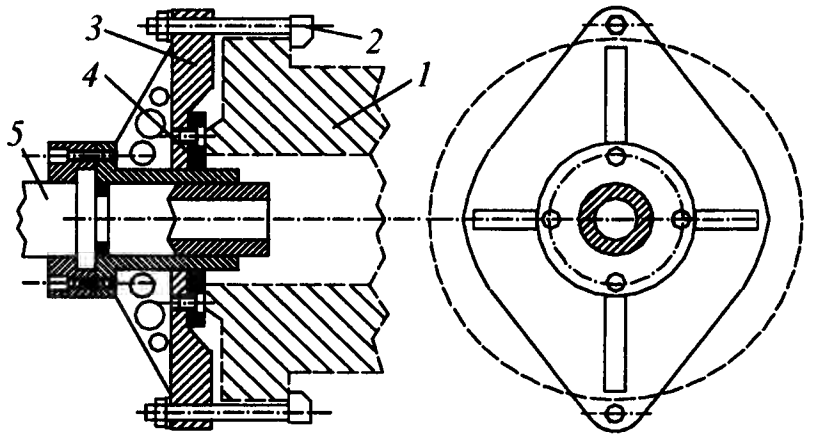


Рис. 2.118. Приспособление для подачи СОЖ при хонинговании труб: *1* – труба изделия; *2* – зажимной болт; *3* – корпус; *4* – резиновая уплотнительная шайба; *5* – штуцер подвода СОЖ

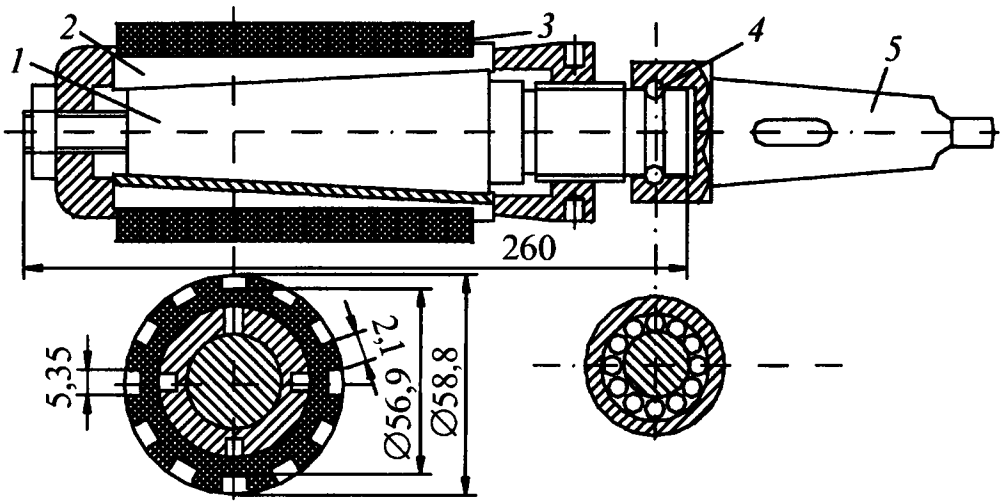


Рис. 2.119. Полировальник для нарезов и полей канала ствольной трубы диаметром 57мм:
1 – оправка с конусом; *2* – коническая разжимная гильза; *3* – набор кожаных колец; *4* – шарики; *5* – хвостовик

2.13.3.3. Полирование

В случае необходимости полирования дна, полей и граней нарезов находили применение полировальники. Конструкция типового полировальника показана на рис. 2.119.

На конической оправке *1* крепится разрезная коническая гильза с набором кожаных колец. После сборки всех кожаных колец и предварительного поджатия на их наружной поверхности фрезеруются винтовые канавки, соответствующие профилю и крутизне нарезов. За счет разжима гильзы *2* при ее осевом смещении кожаные кольца *3* получают необходимое усилие прижима (натяг) к обрабатываемой поверхности. На кожу наносится суспензия из абразивного порошка и машинного масла. За счет шариков *4* полировальник при поступательном движении приводной штанги проворачивается.

2.13.3.4. Местное исправление дефектов в канале

Местное исправление дефектов в канале (повреждение поверхностей полей, граней или дна нарезов) производится специальным слесарным инструментом: личными напильниками, абразивными брусками необходимой формы и наждачного полотна, которые закрепляются на длинных деревянных рукоятках-штангах. На рис. 2.120 показаны некоторые конструкции таких инструментов.

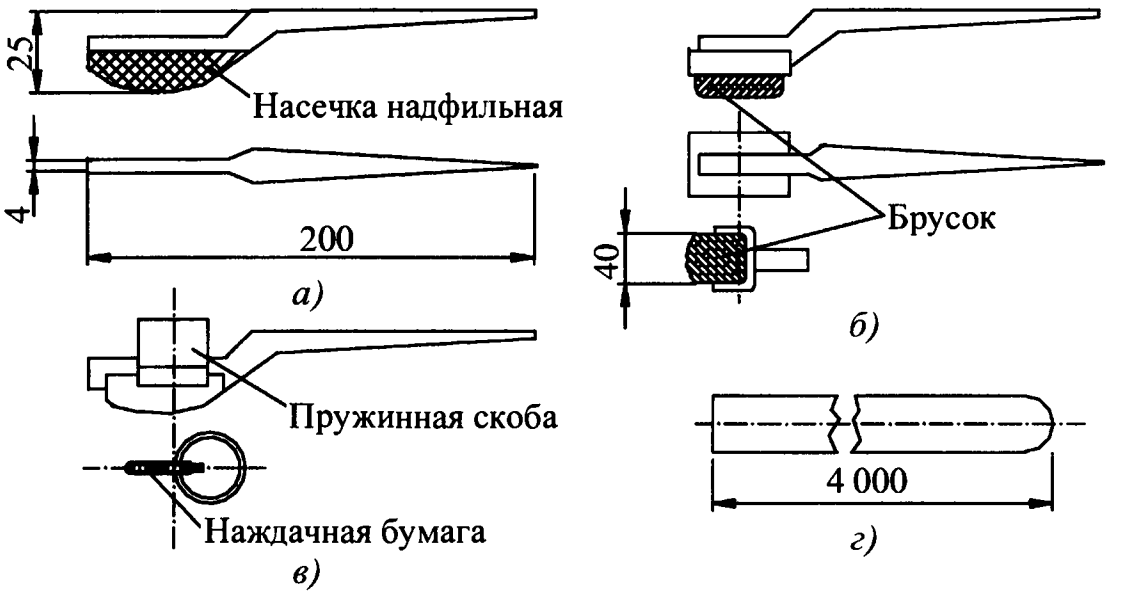


Рис. 2.120. Слесарные инструменты для исправления дефектов в каналах ствольных труб: *а* – напильник для зачистки граней нарезов; *б* – держатель с бруском для зачистки полей; *в* – держатель наждачной бумаги; *г* – рукоятка из легкой древесины (высушенная сосна)

2.13.4. Режимы чистовых операций обработки каналов ствольных труб и применяемые СОЖ

Под **режимами раскатывания** глубоких каналов понимают: скорость раскатывания, осевую подачу раскатной головки и давление ролика на обрабатываемую поверхность.

Реальные скорость и осевую подачу при раскатывании дает табл. 2.55.

Давление ролика на поверхность канала подбирают, чаще всего, опытным путем, учитывая получающуюся шероховатость поверхности и отсутствие ее перенаклепа.

2.55. Режимы раскатывания гладкого канала ствольной трубы

Режимы раскатывания	Труба гладкоствольная системы 2А-20 (калибр 115мм)
Скорость раскатывания, м/мин	144
Число оборотов трубы, об/мин	400
Осевая подача раскатной головки: мм/мин мм/об	 200 0,5

В качестве СОЖ при раскатывании применяются те же жидкости, что и для процессов сверления и растачивания при непременной их фильтрации.

Под **режимами хонингования** каналов глубоких отверстий понимается довольно большое число параметров:

– скорость возвратно-поступательного движения хонинговальной головки;

– скорость вращения хонинговальной головки;

– скорость вращения хонингуемой детали;

– радиальную подачу брусков за один двойной ход головки;

– давление брусков на поверхность детали.

Кроме этих параметров, производительность и качество процесса хонингования зависят от состава, чистоты и расхода СОЖ, а также от материала, зернистости, связки абразивных брусков.

В табл. 2.56 приведены режимы хонингования ствольных труб некоторых систем.

Как видно из таблицы, наблюдается существенное различие режимов хонингования каналов стволов, обусловленное традициями, сложившимися на заводах.

2.56. Режимы хонингования каналов ствольных труб

Изделие	Скорость возвратно-поступательного перемещения головки $v_{в.п}$, м/мин	Число оборотов хонинговальной головки $n_{гол}$, об/мин	Число оборотов детали $n_{дет}$, об /мин	Скорость резания окружная $v_{окр}$, м/мин
С-60	6...7	116	5	21,8
2А-17	11,6/12,4	10/13	10/13	3,5/5
М-46	24	48	6	22

Изделие	$v_{окр}/v_{в.п}$	Общая глубина снимаемого слоя, мм	Подача брусков в радиальном направлении за один двойной ход, мм	Давление брусков на деталь, МПа
С-60	3,6/3,1	0,035/0,05	0,001/0,0012	0,15/0,2
2А-17	3,3/4,0	0,025/0,021	0,0014/0,002	
М-46	0,915	0,075	0,002	

Примечание. В числителе показаны режимы чистового (предварительного), а в знаменателе – чернового хонингования.

Настройка длины рабочего хода хонинговальной головки производится с учетом некоторого выхода головки из канала. Выход этот назначается в пределах 65...80 мм с каждой стороны, т.е. рабочая длина хонингования равна длине детали плюс 130...160 мм.

В качестве СОЖ при хонинговании всегда применяется смесь керосина и веретенного масла в большинстве случаев в пропорции 1:1 (иногда 0,7: 0,3). Присутствие СОЖ при хонинговании необходимо в большей степени не для охлаждения обрабатываемой поверхности (за счет того, что обработка идет при относительно низких скоростях, температура в зоне резания обычно невысока), а для успешного смывания и удаления частиц снятого металла и выкрошившихся затупленных абразивных зерен с обрабатываемой поверхности детали. Для этой цели при хонинговании отверстий диаметром 45...300 мм необходимо подавать жидкость с расходом не ниже 50...200 л/мин при давлении 0,15...0,2 МПа.

Значительное внимание при хонинговании следует уделять очистке СОЖ от механических включений перед подачей ее в зону обработки. Высокая степень чистоты СОЖ улучшает качество поверхности изделий и стойкость хонинговальных брусков. Для ее очистки применяются специальные циклоны.

Схема работы такого циклона английской фирмы MSE показана на рис. 2.121.

Грязная СОЖ *8* из зоны обработки под некоторым давлением поступает в завихритель *2*, который сообщает жидкости тангенциальное вращение вдоль внутренней стенки циклонного конуса *1*. За счет его конусности интенсивность завихрения жидкости внизу возрастает. Под действием сужения у выходного насадка *4* создается вторичный, но уже восходящий, поток жидкости *5*. Благодаря этому, поток очищенной жидкости подается в патрубок *6*, откуда она может быть слита в бак.

Твердые частицы, имеющие плотность большую, чем плотность жидкости, отбрасываются при завихрении к стенкам конуса и с небольшим количеством жидкости выходят через сопло *4* в специальную

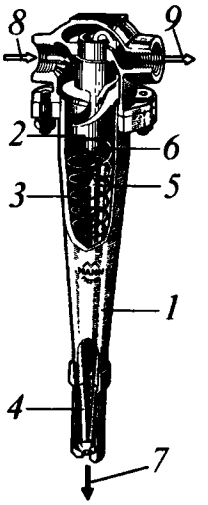


Рис. 2.121. Схема работы циклона для очистки СОЖ в хонинговальных станках: *1* – конический корпус циклона; *2* – завихритель; *3* – траектория потока очищаемой СОЖ на стенке конуса; *4* – насадок; *5* – восходящий поток очищенной СОЖ; *6* – патрубок входа очищенной СОЖ; *7* – удаление грязи; *8* – поток грязной СОЖ; *9* – поток чистой СОЖ

легкосменную емкость.

Степень очистки зависит от перепада давления в циклоне, от размера и формы частиц, вязкости жидкости, размера и формы циклона.

В общем случае, водные эмульсии и другие маловязкие жидкости очищаются от частиц стали и износа брусков величиной свыше 10 мкм.

Такие циклонные очистные агрегаты, включающие бак СОЖ, дополнительный нагнетательный насос, быстросменные емкости для грязи, в зависимости от требуемой производительности подачи СОЖ в хонингуемый канал выполняют с различными габаритами составляющих элементов и различным числом циклонов в одном агрегате.

2.13.5. Требования к точности и шероховатости камор после чистовых операций. Чистовые операции, применяемые при обработке камор

Для нормального функционирования гильзы при заряжании, выстреле и экстракции необходимо обеспечить в процессе изготовления конусов камор определенные требования по их точности и шероховатости поверхности.

Основным требованием при проведении финишных операций обработки каморы является получение высокого качества поверхности всех конусов (табл. 2.57), отсутствие задиров и глубоких рисок в местах переходов конусов.

2.57. Шероховатости поверхности конусов камор после окончательной обработки

Изделие	Шероховатость поверхности каморы после окончательной обработки *Ra*, мкм
ЗИС-2	0,63
С-60	0,63
ЗИС-3	0,32
2А-20	0,63
2А-17	0,63
М-46	0,32

Точность изготовления элементов камор регламентируется, практически, теми же допусками, которые указаны в табл. 2.34.

Глубина съема металла при чистовых операциях составляет 0,1...0,03 мм.

Финишные (чистовые и отделочные) операции при обработке конусов крамор в настоящее время зависят от калибра системы. Для малых калибров (57...76,2) применяется полировка-притирка, для больших –

полировка центробежными полировальными головками и вибрационное хонингование.

2.13.6. Базирование детали, применяемые станки и последовательность выполнения чистовых операций обработки каморы

Чистовые операции обработки камор выполняются при горизонтальном расположении ствольных труб.

Каморы труб малых калибров обрабатываются на универсальных токарных станках. Труба закрепляется дульным концом в патроне станка, а в казенной части поддерживается люнетом. Обрабатывающий инструмент крепится на каретке суппорта. Кинематика операции: труба вращается, обрабатывающий инструмент имеет осевые возвратно-поступательные движения.

Каморы труб больших калибров проходят чистовую обработку или на простейших центробежных полировальных, или на специальных виброхонинговальных станках.

Центробежные полировальные станки (рис. 2.122) представляют собой два ложемента (*1*, *3*), на которых укладывается труба *2*, и бабку *6* с вращающейся штангой *5*.

На штанге бабки крепится полировальная головка. Полировальная головка (рис. 2.125) имеет две пластинчатых рессоры с массивными свинцовыми наконечниками. При вращении шпинделя эти свинцовые наконечники за счет центробежных сил прижимаются к обрабатываемой поверхности. В осевом направлении шпиндельная бабка перемещается от пары «шестерня – рейка» при помощи ручного штурвала. Это является крупным недостатком такого станка: ручное перемещение головки может привести к дефектам обработки каморы – получению кольцевых углублений на поверхности конусов, а неравномерность прижатия свинцовых грузов полировальной головки к обрабатываемой поверхности детали (за счет изменения по длине каморы ее диаметра) в сочетании с ручной подачей – к потере размеров каморы.

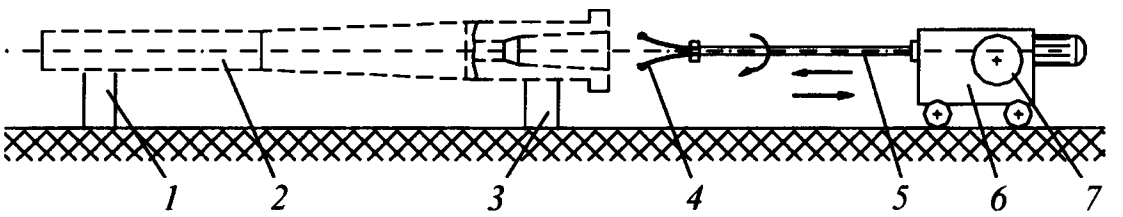


Рис. 2.122. Центробежный полировальный станок: *1*, *3* – ложементы; *2* – ствольная труба; *4* – полировальная головка; *5* – штанга; *6* – шпиндельная бабка; *7* – штурвал осевых перемещений

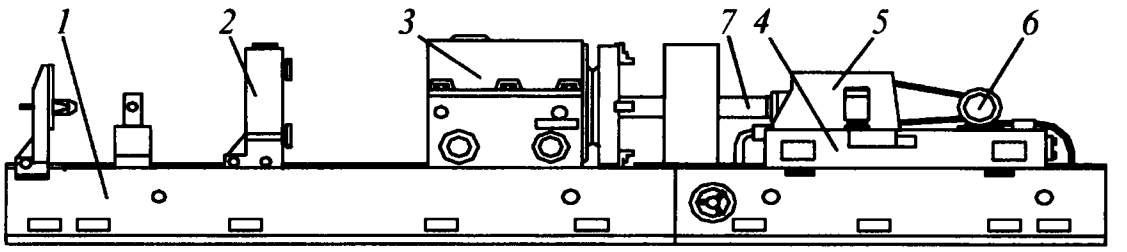


Рис. 2.123. Компоновочная схема виброхонинговального станка РТ294С:
1 – станина; *2* – люнет; *3* – вертлюжная шпиндельная бабка;
4 – суппорт; *5* – корпус кривошипно-шатунного механизма;
6 – привод кривошипно-шатунного механизма; *7* – штанга инструмента

Более прогрессивными агрегатами для чистовой обработки камор являются виброхонинговальные станки типа РТ294С. Компоновочная схема этого станка приведена на рис. 2.123.

Обрабатываемая деталь устанавливается казенной частью в отверстии шпинделя (вертлюга) бабки *3*, закрепляется по наружной поверхности в 4-кулачковом патроне с выверкой биения оси канала. Второй конец поддерживается люнетом *2*. Выверка биения оси трубы чаще всего производится индикатором по наружным шейкам на расстоянии 200...1200 мм от казенного среза. Допустимое биение 0,05...0,06 мм.

Деталь в процессе обработки вращается. Рабочий инструмент – виброхонинговальная головка, конструкция которой будет описана ниже, закрепляется на штанге *7* и вводится в деталь при перемещении суппорта *4*. Штанге *7* задаются осевые колебания при помощи кривошипно-шатунного механизма с определенной частотой и амплитудой. Одновременно осуществляется прижим к поверхности каморы абразивных брусков сжатым воздухом и подача СОЖ.

Основные технические данные станка РТ294С:

высота оси станка над направляющими станины, мм ...	500
наружные диаметры обрабатываемых деталей:	
зажимаемых в 4-кулачковом патроне, мм.....	150...430
базируемых в люнете, мм.....	150...350
длина обрабатываемой детали, мм.....	3000...8000
число оборотов шпинделя, об/мин.....	10...30
регулирование чисел оборотов шпинделя.....	бесступенчатое
число двойных ходов штанги инструмента в осевом направлении, дв. ход/мин	370

двойная амплитуда осевых колебаний штанги инструмента, мм	3...8
давление прижатия хонинговальных брусков к детали, МПа	0,2...0,5
производительность насоса подачи СОЖ, л/мин	50
давление в системе подачи СОЖ, МПа	до 1,3
общая мощность электродвигателей станка, кВт	27,5
мощность электродвигателя привода шпинделя, кВт	14
габариты (Д × Ш × В), мм	12000 × 3600 × × 1815
масса станка, кг	19100

Последовательность и виды чистовых операций при обработке камор приведены в табл. 2.58.

2.58. Последовательность и методы проведения отделочных операций конусов камор

Изделие	Калибр, мм	Номер операции и перехода по техпроцессу	Чистовые операции обработки конусов каморы
С-60	57	20.1	Полировать *1*-й и *2*-й конусы предварительно
		20.2	Полировать *3*-й и *4*-й конусы предварительно
		20.3	Полировать *3*-й и *4*-й конусы окончательно
		20.4	Полировать *1*-й и *2*-й конусы окончательно
		49	Восстановить глянец каморы
		60**	Восстановить глянец каморы
ЗИС-3	76,2	23.1	Полировать *1*-й конус окончательно
		23.2	Полировать *2*-й конус окончательно
		23.3	Полировать *3*-й конус окончательно
		23.4	Полировать *4*-й конус окончательно

Продолжение табл. 2.58

Изделие	Калибр, мм	Номер операции и перехода по техпроцессу	Чистовые операции обработки конусов каморы
2А-20	115	3*/1	Полировать камору
		3*/2	Виброхонинговать камору
		38**	Восстановить глянец каморы
2А-17	122	6*.1	Полировать *1*-й конус окончательно
		6*.2	Полировать *2*-й конус окончательно
		6*.3	Полировать *3*-й конус окончательно
		6*.4	Полировать *4*-й конус окончательно
		6*.5	Полировать *5*-й конус окончательно
		7*	Заполировать риски на переходах конусов
		27*	Полировать камору для окончательной сдачи
М-46	130	11/1	Полировать камору
		11/2	Виброхонинговать камору
		37	Восстановить глянец каморы
		42**	Восстановить глянец каморы

*Номера операций по технологическому процессу после скрепления с кожухом.

**Операции производятся по результатам контроля.

Примечание. Операции 3 (для изделия 2А-20) и 11 (для изделия М-46) могут выполняться или полированием, или виброхонингованием в зависимости от имеющегося оборудования.

Как видно из табл. 2.58, большинство технологических процессов предусматривает на первой чистовой операции окончательную отделку каморы, начиная с первого конуса.

Чистовые операции «Восстановить глянец каморы» предусматривают только восстановление глянца конусов каморы перед сдачей трубы ОТК или представителям заказчика.

2.13.7. Инструменты, применяемые при чистовой обработке камор

Наиболее перспективным инструментом, применяемым для чистовых операций обработки конусов камор, в настоящее время является виброхонинговальная головка (рис. 2.124).

Корпус *7* головки фланцем *11* соединяется со штангой (стеблем) бабки виброхонинговального станка. Второй конец корпуса *7* поддерживается в канале ствола текстолитовыми опорами направляющей втулки *1*. Эта втулка свободно вращается на оси. В центральном канале корпуса *7* находится эластичный мешок *2* (из прорезиненной ткани), на который опираются толкатели колодок *3–5* или непосредственно, или через сектора *6*. К колодкам *8* приклеены хонинговальные бруски *9*. Колодки от выпадения удерживаются в корпусе головки пружинами *10*. Хонинговальные бруски *9* расположены на корпусе рядами с перекрытием друг друга. Размер брусков, их расположение на корпусе, наклон к оси головки определяются конструкцией каморы системы, т.е. для каждой конструкции ствола необходима виброхонинговальная головка определенного типоразмера.

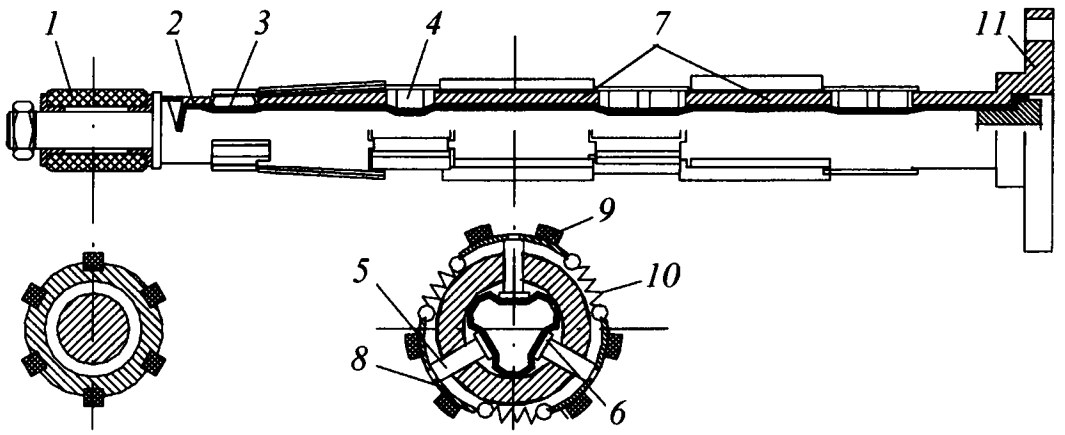


Рис. 2.124. Головка для вибрационного хонингования конусов камор:
1 – текстолитовые опоры направляющей втулки; *2* – эластичный резинотканевый мешок; *3–5* – толкатели брусковых колодок; *6* – стальные сектора; *7* – корпус головки; *8* – брусковая колодка; *9* – бруски; *10* – пружины крепления брусковых колодок; *11* – фланец

После введения хонинговальной головки в камору в прорезиненный мешок подается сжатый воздух. Расширяясь, мешок *2* через сектора *6* или непосредственно через толкатели *4* заставляет колодки с хонинговальными брусками расходится от центра и прижиматься к стенкам каморы.

Подача сжатого воздуха в мешок производится с таким давлением, чтобы обеспечить удельное прижатие брусков к поверхности детали в пределах 0,1...0,4 МПа (питание станка сжатым воздухом производится от цеховой магистрали с давлением ~ 0,5 МПа).

Большим преимуществом такого метода чистовой обработки является возможность получения необходимых диаметральных размеров конусов за счет частичного снятия брусковых колодок в местах, где размер уже получен, и дальнейшего хонингования еще недоработанных зон.

Поверхность камор после вибрационного хонингования за счет сложения траекторий вращения трубы (изделия) и синусоидальных колебаний головки представляет собой сетку микроцарапин, вполне удовлетворяющую всем эксплуатационным требованиям.

Полирование камор ствольных труб калибром более 100 мм в настоящее время производится полировальными головками (рис. 2.125) на установке, кинематика которой и работа разобраны в предыдущем параграфе. Следует только добавить, что к свинцовым наконечникам *1* рессор *2* крепится толстая кожаная лента *4* (латунными гвоздями, клеем, винтами в потай), на которую вручную наносится абразивная суспензия: абразивный порошок с машинным маслом.

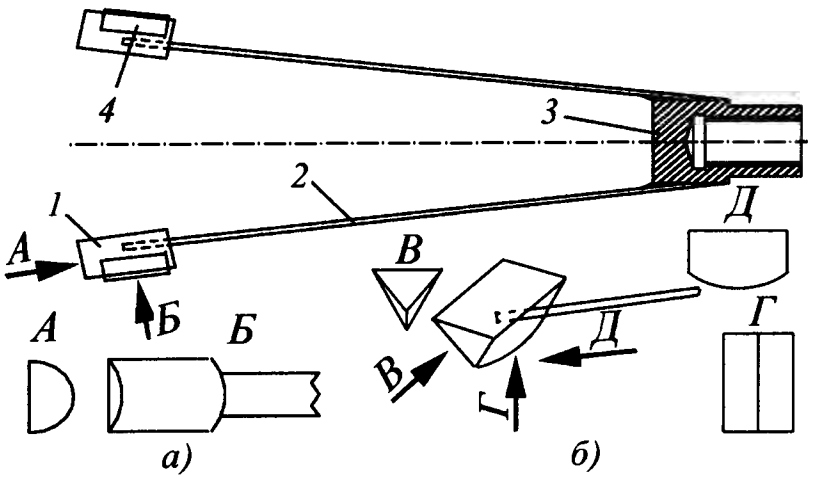


Рис. 2.125. Центробежные полировальные головки: *а* – с грузами-колодками цилиндрической формы; *б* – с грузами-колодками клиновидной формы; *1* – свинцовые наконечники; *2* – планка-рессора; *3* – ступица; *4* – кожа

Полирование камор на этой установке, как говорилось в предыдущем параграфе, требует определенных навыков и большого внимания рабочего (качество изделия зависит от квалификации оператора).

Каморы стволов малых калибров (57...76 мм) в настоящее время обрабатываются окончательно весьма примитивными инструментами – деревянными притирами-полировальниками, выполненными по форме соответствующего конуса (рис. 2.126).

На этом рисунке показаны полировальники для обработки конусов 57 мм зенитной пушки С-60.

Полировальник для обработки первого конуса большого патронника, обернутый наждачным полотном необходимой зернистости, вручную вводится в камору и прижимается к обрабатываемой поверхности. Оправка *1*, изготовленная из березы, имеет три продольных паза. Плотное прилегание оправки *1* к поверхности конуса каморы при полировке осуществляется затягиванием гайки *3*. При этом конический стержень *5* раздает оправку *1*.

При полировании остальных конусов каморы на рабочей поверхности полировальника крепится бронзовая (БрАЖ 9-4) разрезная накладка *6*, выполненная по размерам притираемой поверхности. На рис. 2.126, *б* дана конструкция полировальника для обработки второго конуса каморы. Шурупами *7* бронзовая накладка крепится к одному из элементов оправки. На нее укладывается лента наждачного полотна. За счет продольного разреза накладка при втягивании стержня *5* раздается по диаметру.

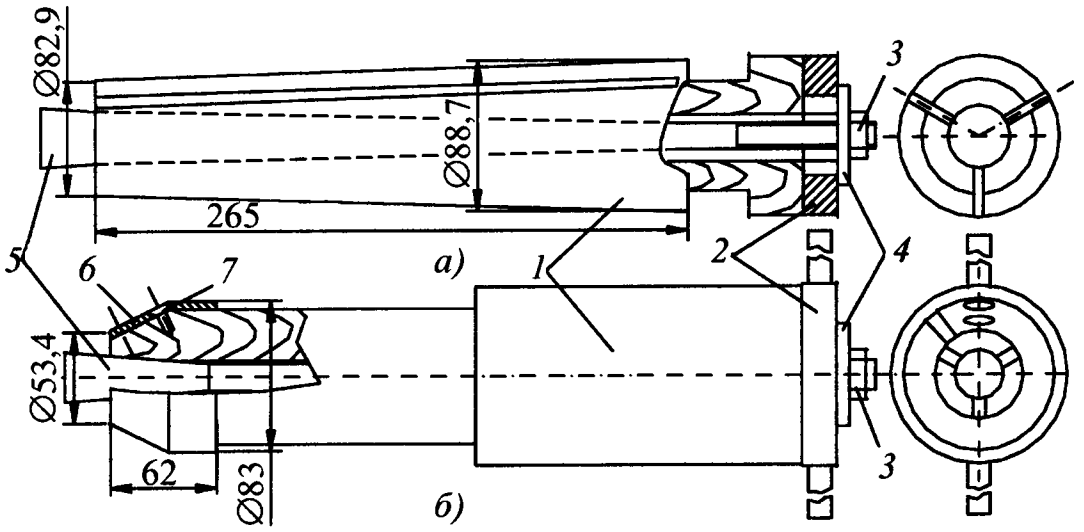


Рис. 2.126. Полировальники для обработки каморы 57 мм пушки:
а – первого конуса; *б* – второго конуса; *1* – деревянная оправка (корпус); *2* – вороток; *3* – гайка; *4* – шайба; *5* – конический стержень; *6* – бронзовая разрезная коническая накладка; *7* – бронзовые шурупы

От проворота вместе с деталью полировальники удерживаются вручную за вороток *2*.

Места переходов конусов при чистовой обработке камор больших калибров на ряде заводов заполировываются вручную войлочным кругом с наждачным порошком. Круг сажается на оправку-штангу необходимой длины и приводится во вращение пневмо- или электроприводом.

2.13.8. Режимы чистовой обработки камор и применяемые СОЖ

Виброхонингование камор ведется на следующих режимах:

число оборотов детали, об/мин	5...6
подача хонинговальной головки, дв.ход/мин	370...400
амплитуда осевых колебаний хонинговальной головки, мм	3...5
давление брусков на деталь, МПа	0,2...0,4

Регулирование давления брусков на деталь осуществляется подачей с определенным давлением сжатого воздуха в эластичный мешок. Для приработки брусков к поверхности каморы давление воздуха в мешке в течение первых 5...10 минут работы поддерживается около 0,1 МПа. Затем давление воздуха повышается до 0,15...0,2 МПа и ведется основное хонингование.

После окончания хонингования (по времени) камора подвергается обмеру.

В случае непрохонингованности некоторых участков конусов, как говорилось ранее, с головки снимается часть брусков и ведется дополнительное хонингование этих мест каморы.

Частота вращения центробежной полировальной головки достаточно большая – 800...1000 об/мин, что соответствует скорости полирования порядка 5...7 м/сек.

Глубина снимаемого слоя при чистовых операциях обработки каморы составляет 0,02...0,05 мм.

В качестве СОЖ при виброхонинговании рекомендуется применять смесь из 50% керосина и 50% веретенного масла. Ряд заводов применяет эту жидкость с добавкой олеиновой кислоты (порядка 6 кг кислоты на 200 кг жидкости.)

Расходы СОЖ и требования по ее очистке от частиц снятого металла, затупленных абразивных зерен и частиц связки брусков аналогичны изложенным в разделе 2.13.4.

При полировании камор применяется машинное масло, которым смачивается абразивное полотно, и на этом же масле разводится абразивная суспензия.

2.13.9. Абразивные материалы, применяемые на чистовых операциях обработки канала и каморы

На чистовых операциях обработки канала и каморы в большинстве случаев применяются четыре вида абразивного инструмента:

– хонинговальные бруски;

– наждачное полотно (шкурка на тканевой основе);

– шлифовальные (наждачные) порошки;

– войлочные круги с наклеенным абразивным зерном.

Хонинговальные бруски для предварительных и чистовых операций изготавливаются чаще всего из электрокорунда нормального или электрокорунда белого. В некоторых чистовых процессах хонингования применяется карбид кремния зеленый.

Форма брусков – призматическая.

Зернистость применяемого для хонингования каналов и камор абразива 30...60 мкм. Для чистового хонингования бруски изготавливаются из микропорошков с величиной зерна 20 мкм.

Связка брусков – керамическая. Наиболее распространенные связки: СМ1, СМ2, С1, С2, СТ1 (СМ – среднемягкая, С – средняя, СТ – среднетвердая).

В настоящее время для окончательной обработки канала и каморы на некоторых заводах применяют бруски из синтетических алмазов (АС) на металлической связке. Алмазные бруски имеют преимущества перед корундовыми по стойкости (острота режущих кромок алмазных зерен сохраняется дольше) и производительности (можно задавать алмазным брускам в 1,5 – 2 раза большие скорости и удельное давление). Недостатком алмазных брусков принято считать получение несколько худшей шероховатости обработанной поверхности.

Наждачное полотно (шкурка) для полирования камор и канала на тканевой основе имеет зернистость 160...120 мкм и даже иногда 50 мкм. Абразивный материал – электрокорунд.

Зернистость шлифпорошка для центробежных головок – 500... 250 мкм. Для восстановления глянца камор (освежения) используется шлифпорошок зернистостью 250...160 мкм, а в некоторых случаях даже микрошлифпорошок – 40 мкм.

Войлочные полировальные круги для ручной заполировки рисок в местах переходов конусов оклеиваются абразивом зернистостью 160 мкм.

Применяемые шлифпорошки в большинстве своем изготавливаются из электрокорунда.

2.13.10. Затраты времени на чистовые операции обработки канала и каморы

В табл. 2.59–2.61 представлены затраты времени соответственно на выполнение чистовых операций канала ствола, каморы и суммарное штучное время на обе эти операции.

2.59. Затраты времени на отделочные операции поверхности канала ствольных труб

Изделие	Номер операции	Вид обработки	$T_{шт}$, мин	$T_{маш}$, мин	$T_{всп}$, мин	$T_{маш}/T_{шт}$, %
С-60	13	Хонингование гладкого канала	–	43	32	–
	28	Хонингование полей	–	43	34	–
	47	Зачистка нарезов шкуркой	18	–	–	–
ЗИС-3	11	Полирование гладкого канала	310	230	80	74
	22	Полирование по дну нарезов	70	–	–	–
2А-20	10	Раскатывание гладкого канала	60	29	25	48
	9*	Хонингование гладкого канала	63	28	32	44
2А-17	4	Хонингование гладкого канала	52	18	30	35
	25	Хонингование полей	120	81	32	67
	26	Полирование нарезов	420	–	–	–

Продолжение табл. 2.59

Изделие	Номер операции	Вид обработки	$T_{шт}$, мин	$T_{маш}$, мин	$T_{всп}$, мин	$T_{маш}$ / $T_{шт}$, %
М-46	23	Хонингование полей	160	75	71	47
	35	Зачистка заходов нарезов	103	–	–	–
	41	Зачистка полей и нарезов	240	–	–	–

* Операции идут после скрепления с кожухом.

– Данные в техпроцессе отсутствуют.

2.60. Затраты времени на отделочные операции поверхностей конусов камор ствольных труб

Изделие	Номер операции	Вид обработки	$T_{шт}$, мин	$T_{маш}$, мин	$T_{всп}$, мин	$T_{маш}/T_{шт}$, %
С-60	20	Полирование конусов	68	–	–	–
	49	Восстановление глянца конусов	57	–	–	–
	60	Восстановление глянца конусов	45	–	–	–
ЗИС-3	23	Полирование конусов	210	–	–	–
2А-20	3*/1	Полирование конусов	100	61	32	61
	3*/ 2	Виброхонингование конусов	61	20	38	33
	38*	Восстановление глянца конусов	34	18	14	53
2А-17	6*	Полирование конусов	105	–	–	–
	7*	Полирование переходов конусов	40	–	–	–
	27*	Восстановление глянца конусов	60	–	–	–

Продолжение табл. 2.60

Изделие	Номер операции	Вид обработки	$T_{шт}$, мин	$T_{маш}$, мин	$T_{всп}$, мин	$T_{маш}/T_{шт}$, %
М-46	11/1	Виброхонингование конусов	162	54	–	–
	11/2	Полирование конусов	129	114	15	88
	37	Восстановление глянца конусов	26	–	–	–
	42	Восстановление глянца конусов	12	–	–	–

* Операции идут после скрепления с кожухом.

– Данные в техпроцессе отсутствуют.

/- Вариант выполнения операции.

2.61. Сумма штучных времен отделочных операций каналов и камор

Изделие	Сумма штучных времен чистовых операций канала и каморы t_{Σ}, мин
ЗИС-3	590
2А-20	257/218
2А-17	597
М-46	670/701

Примечание. В числителе указано штучное время чистовых операций при применении центробежных полировальных головок, в знаменателе – при виброхонинговании.

Как видно из таблиц, чистовые операции весьма трудоемки. Снижение затрат времени на их проведение – актуальная задача.

Следует обратить внимание на то, что затраты времени велики и по вспомогательному времени. Это требует применения устройств, облегчающих установку и выверку деталей и инструмента на чистовых операциях.

2.14. Контроль ствольных труб. Задачи, методы, приборы

Качество изготовления ствольных труб оценивается рядом геометрических характеристик, а также состоянием микрогеометрии рабочих поверхностей и наличием несплошностей, неметаллических включений, трещин, раковин в стенках трубы.

2.14.1. Измерение геометрических характеристик ствольных труб

Оценка геометрии ствольной трубы ведется по:

– размеру диаметра канала ствола по полям и нарезам в нарезных системах или диаметра канала в гладкоствольных системах;

– отклонению от прямолинейности канала;

– разностенности трубы;

– величине дульного угла;

– размерам конусов каморы;

– соосности канала и каморы;

– наружным размерам трубы.

2.14.1.1. Проверка диаметра канала по полям и нарезам

Поля и нарезы у всех систем выполняются соответственно с точностью H9 и H10.

Однако, отклонение от цилиндричности отдельно взятого канала по полям, несмотря на достаточно широкий допуск H9, лежит обычно в пределах 0,02 мм.

В артиллерийском производстве измерение геометрических параметров производится прямым методом, наиболее точным и производительным. Точность прямых измерений повышается применением дифференциального метода – метода разности между какой-то известной и измеряемой величинами.

Измерение диаметра канала ствола может производиться как 1) на рабочем месте станочника, выполняющего ту или иную операцию по обработке канала, так и 2) на специально оборудованном контрольном участке цеха.

В зависимости от этого принципиально меняются и измерительные средства.

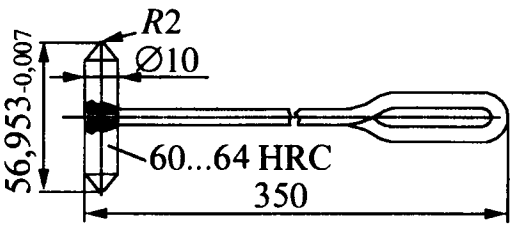


Рис. 2.127. Конструкция проходного штихмасса для измерения трубы с диаметром 57 мм по полям

В **первом случае** замеры ведутся рабочим-оператором обычными штихмассами (проходными и непроходными). Для возможности определения размера на некотором расстоянии от торца канала штихмассы крепятся на длинных рукоятках (рис. 2.127).

Иногда для определения истинного размера диаметра по полям или нарезам применяются микрометрические штихмассы и стандартные индикаторные нутромеры.

Во **втором случае** (на специальном контрольном участке) поля, нарезы или гладкие каналы замеряются по всей своей длине. Замеры производятся в зависимости от типа применяемого прибора или в определенных сечениях дискретно через 100...200 мм или непрерывно по образующей канала.

На производстве в настоящее время еще широко применяются клиновые звездки (рис. 2.128).

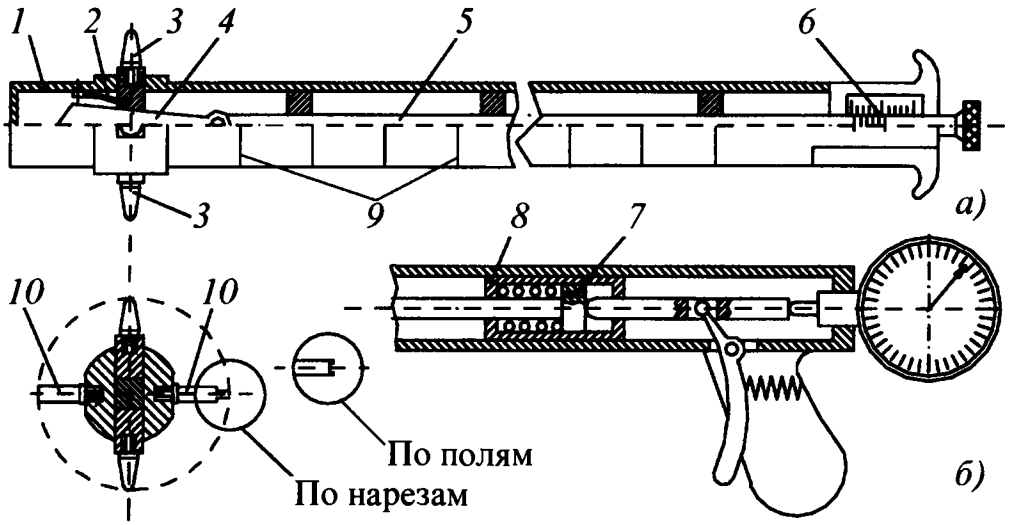


Рис. 2.128. Схемы клиновых звездок: *а* – с нониусным отсчетом; *б* – с индикаторным отсчетом; *1* – корпус; *2* – пружина возврата колков; *3* – колки; *4* – клин; *5* – штанга; *6* – нониус; *7* – жиклер; *8* – гидроцилиндр – демпфер; *9* – риски на корпусе; *10* – центрирующе-направляющие штыри

Измерение канала производится раздвижением до соприкосновения с измеряемой поверхностью канала колков *3* клином *4*. Перемещается клин внутренней штангой *5*. Считывается размер с нониусной шкалы *6*.

Недостатки клиновых звездок:

– необходимость работы вдвоем;

– зависимость показаний прибора от опытности оператора (усилия, раздвигающие колки звездки, должны быть одинаковыми);

– трудность снятия отсчета с нониусной шкалы;

– необходимость вести запись замеров в формуляре детали вручную;

– замеры ведутся дискретно – по сечениям.

Сферическая форма измерительной поверхности колков при малом радиусе сферы и значительном усилии контактирования колков с обмеряемой поверхностью оставляет на этой поверхности вмятины. Глубина этих вмятин будет являться погрешностью измерений. Кроме того, этими лунками будет портиться внешний вид изделия. Для ствольных сталей при изменении мерительного усилия от 10 до 250 Н, при радиусе сферы колка 1 мм глубина отпечатка равна 1,5...8 мкм, а при радиусе 4 мм – 1...2 мкм. На эксплуатационные характеристики ствола вмятины от колков существенного влияния оказать не должны.

Цена деления нониусной шкалы такой звездки – 0,02 мм.

Клиновая звездка, показанная на рис. 2.128, *б*, имеет ряд преимуществ:

– сила раздвижения колков стабильна, так как создается она не оператором, а пружиной в гидроцилиндре – демпфере *8*;

– скорость подвода колков к измеряемой поверхности канала регулируется гидроцилиндром *8*, в поршне которого имеется дросселирующее отверстие *7*;

– рукоятка позволяет оператору более удобно вести измерения (он только убирает колки и перемещает прибор в следующее положение для измерения;

– более точно и просто производится и отсчет размера.

В некоторых производствах применялись звездки индикаторные и оптические, принцип работы которых похож: колки в измерительной головке присоединялись либо к корпусу и штоку индикатора часового типа, либо к прозрачным пластинам со шкалами. Показания индикатора или взаимное положение шкал наблюдалось оператором в оптическую трубу, установленную вне изделия. Широкого распространения такие приборы не нашли из-за сложности их обслуживания и громоздкости.

Современная технология требует автоматической регистрации полученных замеров. Это может быть осуществлено проще всего при применении преобразователей (датчиков), выдающих электрический сигнал, пропорциональный измеряемому размеру за счет изменения индуктивности или емкости при изменении положения измерительных элементов. В приборах, измеряющих диаметры каналов глубоких отверстий, в настоящее время чаще употребляются индуктивные преобразователи.

Для **измерения каналов гладких ствольных труб** широко применяют приборы с индуктивными датчиками.

По техническим требованиям гладкие трубы обмеряются в двух взаимно перпендикулярных диаметрах. Измерительные головки таких приборов имеют или четыре колка (рис. 2.129), или два (рис. 2.130). В случае использования измерительной головки с двумя колками, измерение диаметра канала сначала проводится при движении головки в одном направлении, а после выхода головки из канала за торец трубы она разворачивается на 90°, и производится второе измерение.

Большим преимуществом измерительных головок с индуктивными преобразователями является возможность непрерывного замера диаметра канала вдоль всей его образующей.

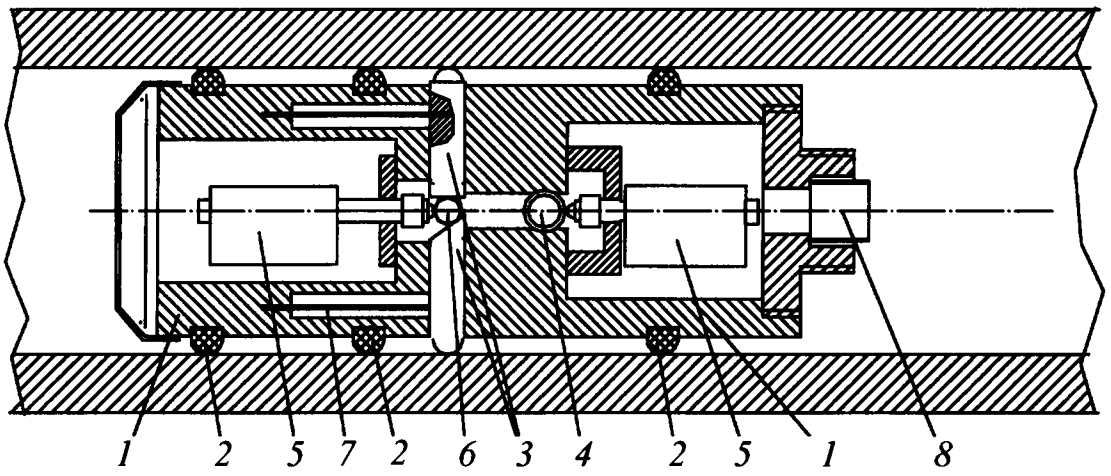


Рис. 2.129.Схема измерительной головки прибора (ПКВД) для измерения внутренних диаметров глубоких каналов по двум взаимно перпендикулярным диаметрам: *1* – корпус; *2* – центрирующие кольца; *3* – колки замера диаметра в вертикальной плоскости; *4* – колки замера диаметра в горизонтальной плоскости; *5* – индуктивные преобразователи; *6* – шарик; *7* – пружины разжима колков; *8* – кабельный разъем

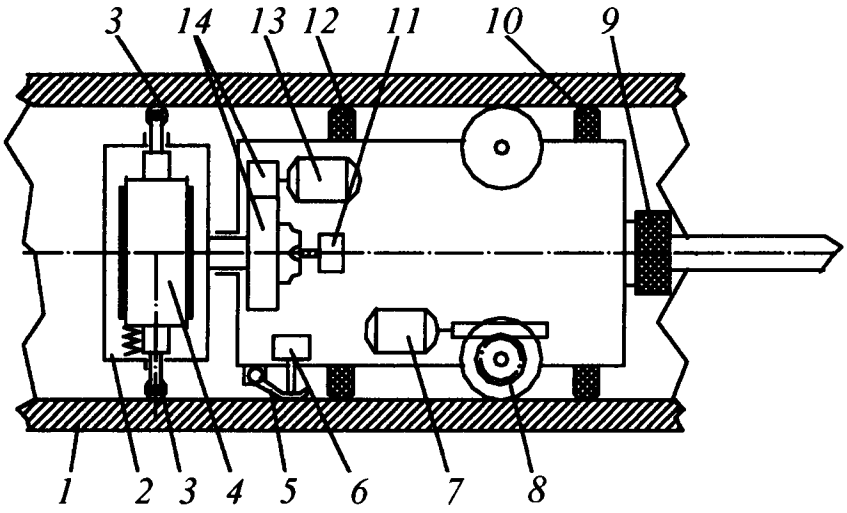


Рис. 2.130. Схема измерительной головки ПКВД с поворотом измерительной головки на 90° и приводом перемещения вдоль канала: *1* – обмеряемая труба; *2* – поворотная измерительная головка; *3* – колки; *4* – индуктивный преобразователь; *5* – рычаг переключателя *6*; *6* – переключатель поворота измерительной головки и реверса осевой подачи; *7* – привод осевой подачи; *8* – ролик осевой подачи; *9* – кабельный разъем; *10*, *12* – центрирующие кольца; *11* – выключатель поворота измерительной головки; *13* – привод поворота измерительной головки; *14* – редуктор

Перемещение измерительной головки по каналу может осуществляться штангой или собственным приводом (рис. 2.130).

Самоходные измерительные приборы применяются чаще. Измерение ими ведется с каморной части.

Питание преобразователей и двигателей, а также передача результатов измерения производится через гибкий кабель от соответствующих блоков питания и регистрации.

В качестве регистрирующих устройств применяются самописцы или блоки с магнитной памятью и возможностью распечатки результатов замеров.

Такие приборы для контроля внутренних диаметров (ПКВД) глубоких каналов достаточно мобильны и могут применяться на стендах, на полигонах и на рабочих местах операций по изготовлению канала.

Измерительные головки перед работой предварительно настраиваются на размер по кольцу-калибру или микрометру, и уже от этого диаметра происходит отсчет и запись размеров обмеряемых диаметров трубы.

Основные технические данные прибора ПКВД 3:

измеряемый диаметр, мм:	
без центрирующих колец	114,90...116,00
с центрирующими кольцами	124,90....126,00
длина контролируемой трубы, мм	до 8000
погрешность измерения, мм:	
при отклонении диаметра от номинала в пределах 0...0,25 мм	0,01
при отклонении диаметра от номинала в пределах 0...0,5 мм	0,02
время контроля одной трубы, мин	2
длина измерительной головки, мм	470
масса измерительной головки, кг	6,5

Измерение нарезных труб должно производиться более сложной измерительной головкой. Здесь число замеров в каждом обмеряемом сечении не два, как в гладких трубах, а равно числу нарезов, так как измерение должно производиться по полям и по нарезам при полуобороте измерительной головки.

Такое измерение занимает существенно больше времени.

Возможные схемы измерений нарезного канала:

– возвратно-поступательные движения головки вдоль образующей канала с измерением стольких пар диаметров, сколько конструктивно может разместиться в измерительной головке индуктивных преобразователей и колков;

– измерение диаметра полей и нарезов головкой вращающейся только в отдельно взятом сечении.

На рис. 2.131 представлена конструктивная схема головки для измерения диаметров каналов по полям и нарезам в отдельно взятом сечении.

Корпус головки *1* центрируется в канале по полям шестью подпружиненными элементами *2*. От проворота головки в канале предусмотрен текстолитовый кулачок *3*, входящий в один из нарезов. К корпусу *1* головки крепится стальной сепаратор *4*, в котором с некоторой степенью свободы размещены калиброванные шарики *5*. Диаметр шариков примерно равен глубине нарезов, а их число равно числу нарезов. Сепаратор *4* имеет между шариками прорези для полей обмеряемого канала.

Измерительный механизм головки состоит из двух кареток *12* и *13* и индуктивного преобразователя *7*. Измерительный механизм помещен в шариковых направляющих фланца вала *6*.

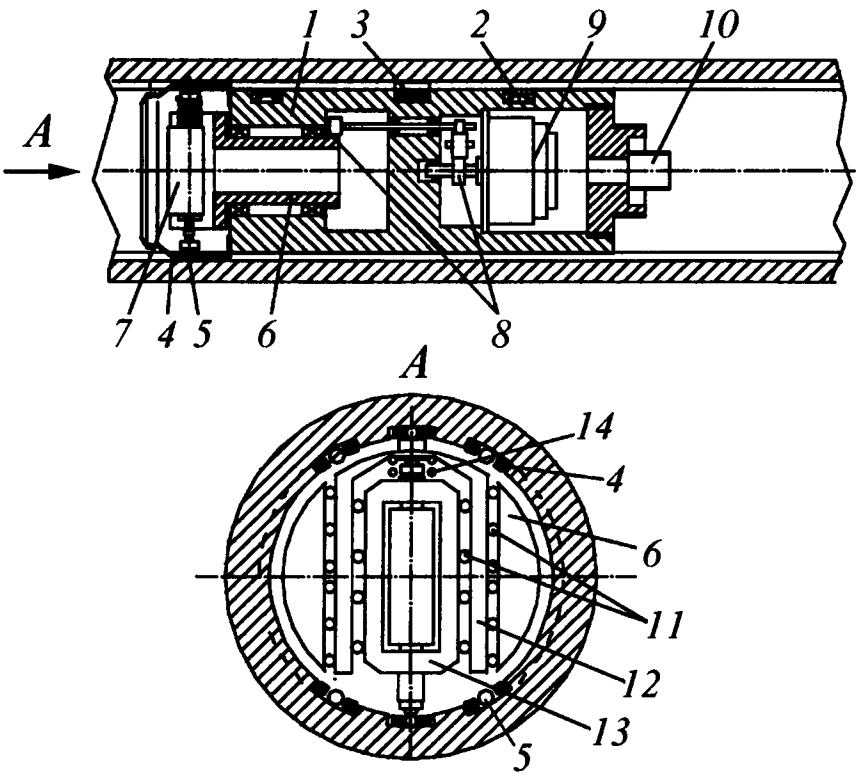


Рис. 2.131. Схема головки для измерения трубы по полям и нарезам в необходимом сечении: *1* – корпус; *2* – упругие элементы; *3* – ориентирующий кулачок; *4* – сепаратор; *5* – калиброванные шарики; *6* – вал с фланцем; *7* – индуктивный преобразователь; *8* – редуктор; *9* – электродвигатель; *10* – штепсельный разъем; *11* – подшипники направляющих измерительных кареток; *12*, *13* – измерительные каретки; *14* – пружина каретки

Преобразователь *7*, неподвижно укрепленный в каретке *13*, под действием пружины *14* жестким упором-колком контактирует с измеряемой поверхностью (на схеме внизу). Диаметрально противоположная точка обмеряемого канала ощупывается упором-колком каретки *12* под действием той же пружины *14*. Подвижный шток преобразователя *7* упирается в каретку *12*. При перемещении кареток друг относительно друга (что происходит при изменении размера обмеряемого диаметра) шток преобразователя перемещается, изменяя его индуктивность.

Для замера диаметра других полей и нарезов весь измерительный механизм проворачивается на 180° при помощи электродвигателя *9* и редуктора *8*.

Измерение нарезов производится через калиброванные шарики, а полей – непосредственным контактом измерительных колков с полями. Благодаря тому, что диаметры шариков *5* примерно равны глубине наре-

зов, диапазон хода штока преобразователя *7* минимален, что позволяет получить высокую точность и стабильность замеров. Скорость поворота головки – 1 об/мин. По техническим требованиям канал обмеряется через 100, 200 мм или более в зависимости от расположения нужного сечения в дульной, казенной или центральной части. Таким образом, время обмера трубы по этим сечениям будет значительным.

Перед производством замеров головка настраивается на ноль по кольцу – калибру.

2.14.1.2. Измерение отклонения от прямолинейности канала

Непрямолинейность канала влияет на меткость орудия. Радиус кривизны канала R из схемы рис. 2.132 для условия, что максимальная стрела прогиба Δ (отклонение от прямолинейности) лежит в рассматриваемой плоскости и определяется как $R = \frac{L_{\text{кан}}^2}{8\Delta} + \Delta^2 \approx \frac{L_{\text{кан}}^2}{8\Delta}$.

Для современных ствольных труб с длиной канала 6...7 метров и отклонением от прямолинейности 1...3 мм R составляет 1500...4500 метров.

В существующих технологических процессах отклонение от прямолинейности канала оценивается двумя способами:

– проталкиванием через канал гладкого длинного калибра-валика (рис. 2.133).

– замером расстояния между геометрической и действительной осями канала (рис. 2.134).

Калибр-валик делается стальным, чаще всего для облегчения полым. Длина таких калибров, как правило, выбирается равной 5 диаметрам проверяемого канала. Рабочая поверхность калибра имеет шероховатость Ra = 0,32 мкм и омеднена для уменьшения трения при проталкивании через канал. Жесткие требования к размерам этого калибра предъявляются по овальности, конусности и прямолинейности образующих (они лежат в пределах допуска на изготовление диаметра калибра).

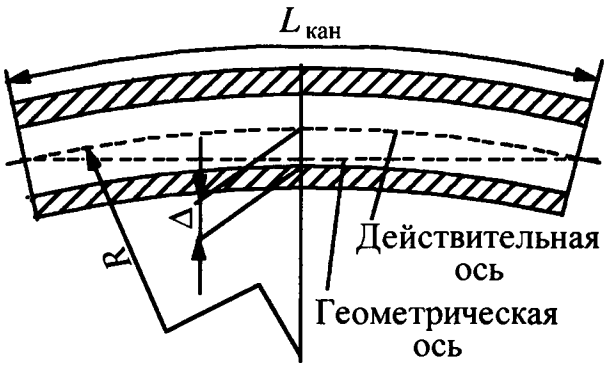


Рис. 2.132. Схема определения радиуса кривизны *R* канала при условии, что максимальная стрела прогиба Δ (отклонение от прямолинейности) лежит в рассматриваемой плоскости

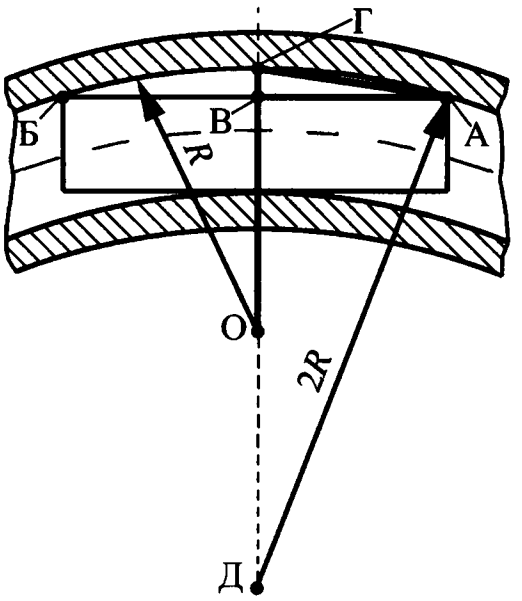


Рис. 2.133. Схема замера отклонения от прямолинейности канала гладким калибром-валиком

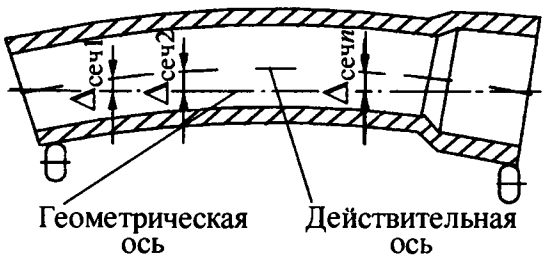


Рис. 2.134. Схема определения отклонения от прямолинейности канала замером расстояния между геометрической и действительной осями канала в необходимом сечении

На рис. 2.135 дана конструкция калибра-валика для проверки гладкого канала изделия 2А-20.

Из рис. 2.133 видно, что при условии незащемления калибра-валика в канале радиус кривизны R, определен из треугольников А,ДВ и АВГ. Здесь: АД = $2R$; АВ = $L_{вал}/2$; ВГ = $d_{кан} - d_{вал} = e$.

После преобразований:

$R = e/4 + L^2_{вал}/16$, из-за малости $e/4$ можно принять $R = L^2_{вал}/16$.

В табл. 2.62 приведены значения радиусов кривизны каналов, получаемых при проверке такими калибрами. Из этой таблицы видно, что значения радиуса кривизны канала, полученные при контроле калибром-валиком, значительно меньше, чем 1500...4500 м, рассчитанных выше.

Более точно определение непрямолинейности канала производится замером расстояния между геометрической и действительной осями канала методом нивелирования (см. рис. 2.134).

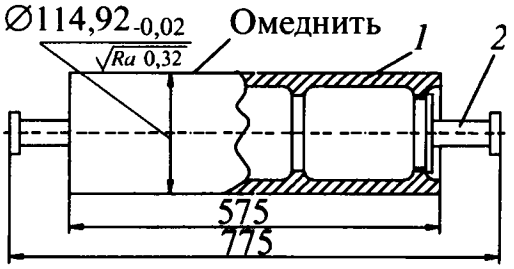


Рис. 2.135. Калибр-валик для проверки отклонения от прямолинейности канала трубы диаметром 115 мм:
1 – корпус; *2* – рукоятка

2.62. Радиусы кривизны канала ствола, полученные при измерении калибром-валиком

Изделие	Калибр канала $d_{кан}$, мм		Диаметр валика $d_{вал}$, мм	
	min	max	min	max
ЗИС-2	57,00	57,10	56,89	56,91
2А-20	115,00	115,15	114,88	114,92
М-46	130,00	130,15	129,85	129,90

Изделие	Длина валика $L_{вал}$, мм	Зазор $d_{кан} - d_{вал}$, мм		Радиус кривизны канала R, м	
		min	max	min	max
ЗИС-2	285	0,09	0,21	48,348	112,812
2А-20	575	0,08	0,27	153,067	516,601
М-46	650	0,10	0,30	176,041	528,125

При таком контроле ствольная труба укладывается на любые опоры (чаще всего, на роликовые призмы). Необходимо положение опор выбирать таким, чтобы прогиб трубы под действием собственного веса был минимальным. Строгое горизонтальное положение ствола необязательно. Методом нивелирования может производиться замер непрямолинейности канала ствола у собранного орудия. В этом случае прогиб ствола под действием собственного веса будет влиять на результат контроля.

Учет влияния весового прогиба на величину Δ производится повторным измерением Δ при провороте трубы на роликовых призмах на 180° и усреднением результатов этих двух замеров.

По способу задания геометрической оси канала метод нивелирования реализуется тремя схемами:

– оптической осью зрительной трубы;

– лучом лазера – оптического квантового генератора (ОКГ);

– тонкой стальной струной.

Первая схема (рис. 2.136) – наиболее старая – применяется на заводах с использованием прибора 4КРСМ.

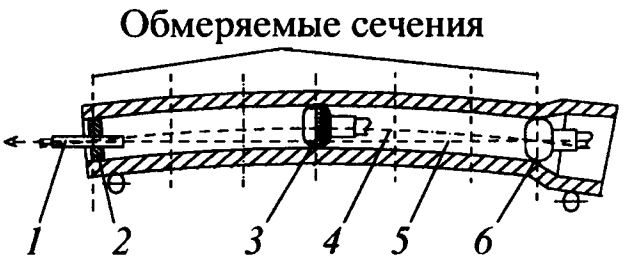


Рис. 2.136. Схема замера отклонения от прямолинейности канала оптическим прибором 4КРСМ: *1* – визирная труба; *2* – кольцо крепления визирной трубы; *3* – прозрачная шкала марки; *4* – действительная ось канала; *5* – геометрическая ось канала; *6* – самоцентрирующаяся марка

Визирная труба *1* устанавливается в канале ствола так, чтобы ее оптическая ось проходила через центры крайних сечений канала, т.е. задавала его геометрическую ось. Визирная труба *1* в дальнейшем сохраняет положение геометрической оси, которая в поле зрения наблюдателя является точкой пересечения перекрестия.

При перемещении измерительной марки *6* по каналу в случае его непрямолинейности центр марки будет отклоняться от геометрической оси. Марка имеет подсвеченную прозрачную шкалу с концентрическими кольцевыми делениями, по которым можно определять величину и направление непрямолинейности канала.

Цена деления шкалы марки у этих приборов – 0,5 мм. Вид шкалы, видимой в поле зрения визирной трубы, показан на рис. 2.137.

Значительным недостатком этих приборов является необходимость работы вдвоем, причем оператор, наблюдающий в визирную трубу, должен производить отсчет и записывать его в формуляр трубы. Кроме того, такие приборы имеют невысокую точность замера (±0,25 мм в лучшем случае), так как при удалении шкалы марки от оператора точность отсчета уменьшается, вносится значительная субъективная ошибка.

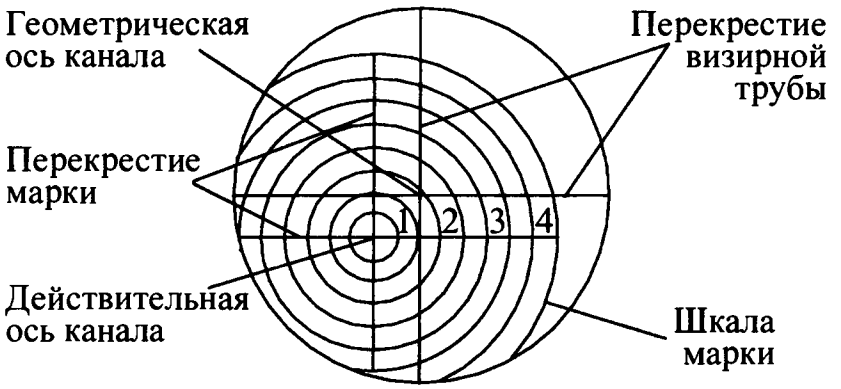


Рис. 2.137. Шкала марки в поле зрения визирной трубы прибора 4КРСМ

Более современной и прогрессивной является схема замера отклонения от прямолинейности канала, основанная на задании геометрической оси канала лучом ОКГ. Газовый лазер устанавливается в канал так же, как зрительная труба, показанная на рис. 2.136. Марка же (желательно самоходная) имеет светочувствительный элемент в виде 4-секторного фотодиода или фотоматрицы (рис. 2.138).

Отклонение пятна засветки луча лазера от центра светочувствительного элемента регистрируется не оператором, а электронными устройствами, обрабатывающими сигнал. Этот сигнал может храниться в памяти устройства, распечатываться или выводиться на шкалу показывающего прибора.

Производительность измерения отклонения от прямолинейности канала таким методом существенно повышается, исключаются субъективные ошибки, повышается точность замеров.

Величина погрешности измерения такими приборами лежит в пределах сотых долей мм.

Весьма точные замеры (до мкм) позволяет получить схема с использованием стальной струны, имитирующей геометрическую ось канала.

Струна натягивается в центрирующих пробках, которые устанавливаются в крайних сечениях канала. Измерительная самоцентрирующаяся головка имеет отверстие для струны и высокоточные индуктивные преобразователи. Эти преобразователи измеряют отклонение центра марки (положение действительной оси канала) от натянутой струны.

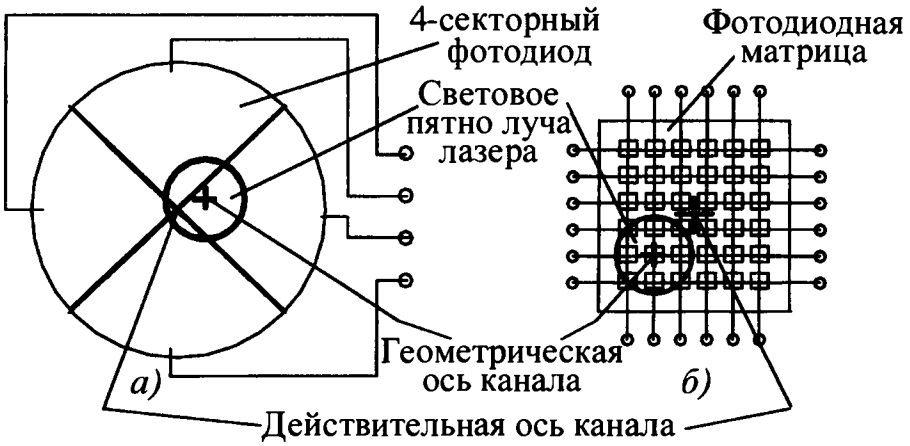


Рис. 2.138. Схемы засветки лучом лазера светочувствительного элемента марки в виде: *а* – 4-секторного фотодиода; *б* – фотодиодной матрицы

Погрешность измерения от весового прогиба обмеряемой трубы и струны компенсируется поворотом трубы на 180°, повторным обмером и осреднением результатов обмера.

Широкого применения при контроле ствольных труб приборы с ОКГ и струной пока не нашли.

На рис. 2.139 показана схема головки универсальной измерительной машины для обмера диаметра канала, его отклонения от круглости и прямолинейности, разработанной в МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Машина состоит из трех блоков: *а* – газового лазера, задающего геометрическую ось канала; *б* – измерительной самодвижущейся вдоль оси канала головки; *в* – блока питания и регистрации результатов замеров.

Фотодиодная матрица регистрирует отклонение измерительной головки от геометрической оси канала (луча лазера).

Шесть измерительных колков имеют каждый по фотодиодной линейке и осветителю-светодиоду. Шаг расположения фотодиодов в линейке – 0,015 мм.

В зависимости от размера диаметра обмеряемого канала, шторки колков позволяют быть освещенными определенному количеству элементов фотолинейки.

Сигналы с фотолинеек математически обрабатываются и дают значения среднего диаметра обмеряемого сечения, отклонение его от круглости и положение его центра в пространстве. Последнее, в свою очередь, совместно с сигналом фотоматрицы, позволяет рассчитать отклонение оси канала от прямолинейности.

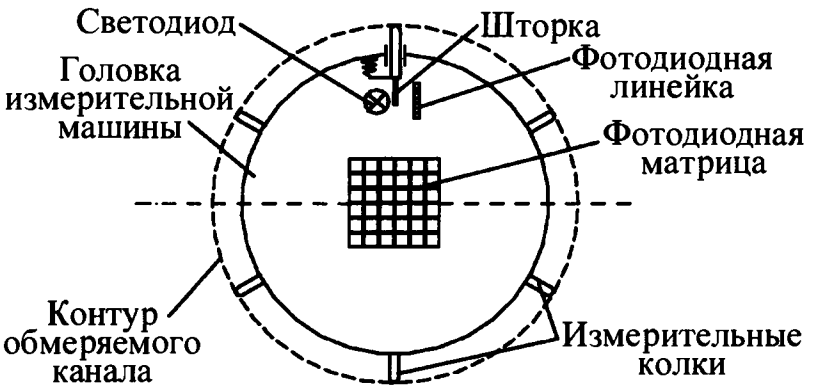


Рис. 2.139. Схема головки универсальной измерительной машины, разработанной в МГТУ им. Баумана

В главе 1 на рис. 1.40 приведена схема работы прибора «Пика-Н7», предназначенного для контроля прямолинейности каналов относительно малого диаметра. Эта схема очень перспективна для измерения каналов любых калибров при ее соответствующей доработке под определенное изделие.

2.14.1.3. Измерение разностенности ствольных труб

Разностенность ствольных труб влияет на меткость орудия, особенно при интенсивном темпе ведения огня, вследствие искривления канала ствола за счет неравномерного теплового расширения стенок трубы.

Разностенность ствольных труб оценивается в определенных поперечных сечениях. Расположение этих контрольных сечений, их количество и величина допускаемой разностенности в каждом из них задаются техническими условиями на изготовление и приемку труб.

В табл. 2.63 приведены допускаемые величины разностенности для некоторых ствольных труб.

2.63. Допускамые разностенности ствольных труб

Изделие	Калибр, мм	Общая длина трубы, мм	Расстояние проверяемого сечения от дульного среза, мм	Допускаемая разностенность, мм
ЗИС-2	57	3950	800 1600 2400	1,5 1,5 1,5
С-60	57	4110	0 500 1000 1500	0,2 1,5 2,0 2,5
ЗИС-3	76	2985	800 1600 2400	1,5 1,5 1,5
2А-20	115	5700	1000 2000 3000 4000 5000	2,5 2,5 2,5 2,5 2,5

Продолжение табл. 2.63

Изделие	Калибр, мм	Общая длина трубы, мм	Расстояние проверяемого сечения от дульного среза, мм	Допускаемая разностенность, мм
2А-17	122	5610	600	3
			1700	3
			3600	3
			3900	3
М-46	130	6850	1650	3
			2450	3
			3250	3

Приборы, измеряющие разностенность труб средних и крупных калибров, работают на принципах:

– нивелирования;

– измерения скобой с ультразвуковыми преобразователями толщины двух диаметрально противоположных стенок;

– непрерывного измерения толщины стенки трубы ультразвуковыми преобразователями при вращении трубы.

Измерение разностенности нивелированием (рис. 2.140) производится в горизонтальном положении трубы прибором 4КРСм.

Труба *3* кладется на две роликовые призмы *2*, одна из которых располагается в проверяемом сечении.

Труба на подшипниковых опорах может проворачиваться относительно оси своей наружной поверхности. Сечения, в которых производится измерение разностенности, не обязательно располагаются в местах, где наружная поверхность цилиндрическая, при базировании трубы на роликовую призму по конической поверхности и при провороте ее, труба смещается в осевом направлении. Для предотвращения осевого смещения трубы *3*, она казенным торцем упирается в ролик *5*.

Центр кольцевой шкалы самоцентрирующейся марки *1* (центр канала трубы) в обмеряемом сечении при вращении трубы на призмах будет описывать при наличии разностенности некоторую окружность с радиусом е. Диаметр этой окружности и будет составлять максимальную разностенность в данном сечении:

$$T_1 - T_2 = [R + e - r] - [R - e - r] = 2e,$$

где R – радиус наружного сечения; r – радиус канала; e – расстояние между центром канала и центром наружной поверхности.

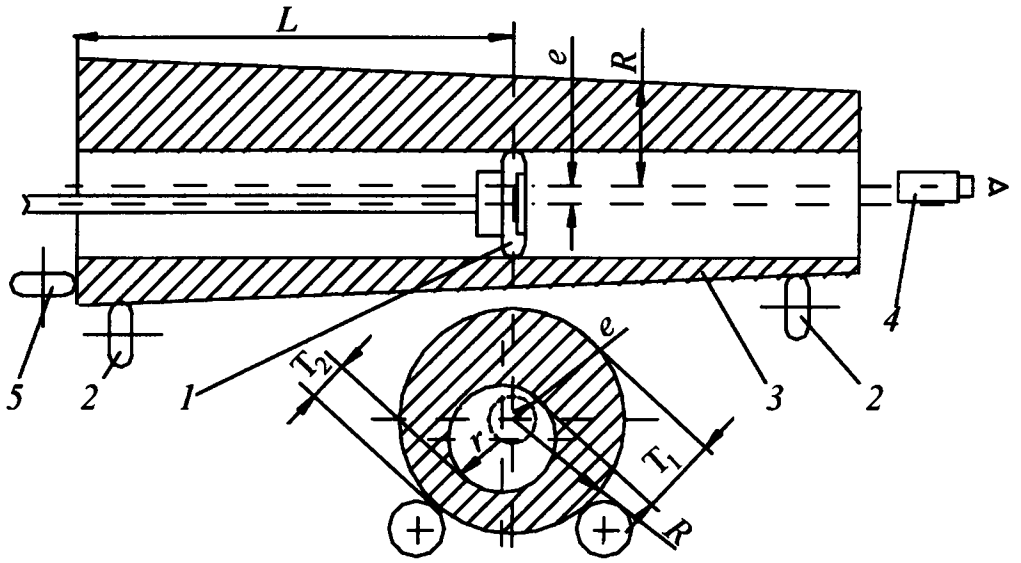


Рис. 2.140. Схема замера разностенности трубы методом нивелирования:
1 – самоцентрирующаяся марка с подсвеченной шкалой; *2* – роликовые призмы; *3* – обмеряемая труба; *4* – зрительная труба; *5* – ролик упорный

Центр сечения наружной поверхности при вращении трубы остается неподвижным, если ролики призмы не имеют погрешностей в виде собственных эксцентриситетов.

Измерение разностенности таким методом имеет недостатки:

– низкая точность замера (цена деления шкалы марки 0,5 мм);

– низкая производительность замера;

– измерения должны производить два оператора;

– ручная запись результатов измерений.

Более прогрессивными приборами для измерения разностенности труб являются устройства с ультразвуковыми толщиномерами. В артиллерийском производстве они реализованы в виде скоб ПКР (приборов контроля разностенности) и приборов типа «Центр».

Принцип измерения разностенности при помощи ПКР показан на рис. 2.141.

Губки *1* и *2* скобы при помощи гайки *8* охватывают изделие *9* в обмеряемом сечении. Губки оснащены ультразвуковыми преобразователями *3*, которые питаются от блока *5* импульсными сигналами. Для улучшения акустического контакта зазор между изделием и преобразователем заполняется машинным маслом.

Посылаемый импульс проходит в изделии до стенки канала, отражается от нее и принимается тем же ультразвуковым преобразователем, который после посылки сигнала работает в режиме приема. Усилителем *6*

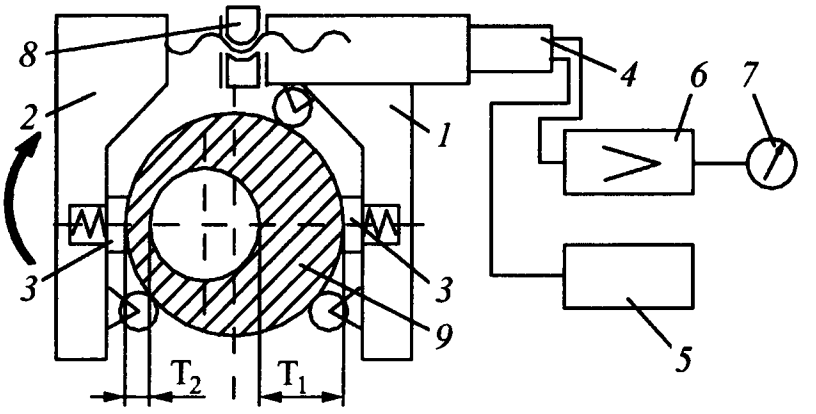


Рис. 2.141. Схема измерения разностенности трубы скобой с ультразвуковыми преобразователями ПКР:
1 – неподвижная губка скобы; *2* – подвижная губка скобы; *3* – ультразвуковые преобразователи; *4* – штепсельный разъем; *5* – блок питания; *6* – блок суммирования и усиления сигналов; *7* – регистрирующий прибор; *8* – гайка; *9* – обмеряемая труба

фиксируется время прохождения посланным импульсом двойной толщины стенки. Суммируя сигналы с двух преобразователей и зная скорость прохождения звуковой волны в стали, вычисляется разностенность трубы. Полученное значение подается на регистратор *7*.

Скобы ПКР достаточно удобны в эксплуатации, измерение производится одним оператором. При этом вращается не лежащая на роликовых призмах обмеряемая труба, а относительно трубы вращается скоба (в районе измеряемого сечения).

При помощи скобы ПКР измерение разностенности трубы можно производить и непосредственно на станке.

Основные технические характеристики скобы ПКР:

диаметр наружной поверхности трубы, мм	155...275
измеряемые толщины стенок трубы, мм	17,5...62,5
максимальная измеряемая разностенность, мм	5
максимальная погрешность измерения, мм	0,1
максимально допустимая шероховатость наружной поверхности и поверхности канала измеряемой трубы *Rz*, мкм	20
время измерения разностенности в одном сечении, мин	1

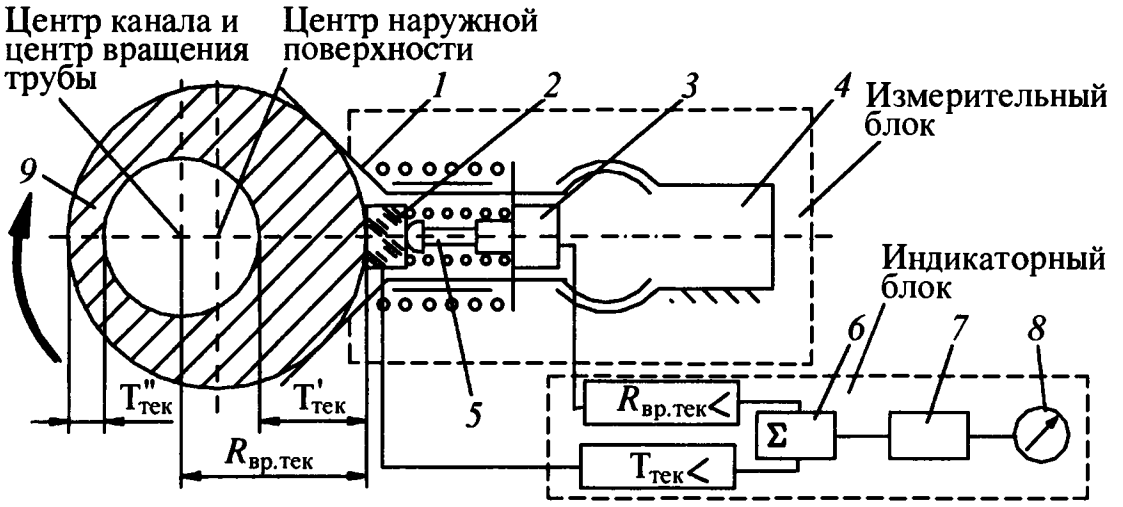


Рис. 2.142. Схема измерения параметров трубы прибором «Центр»:
1 – ориентирующая призма; *2* – ультразвуковой преобразователь; *3* – индуктивный преобразователь; *4* – узел крепления (хвостовик) измерительного блока; *5* – шток индуктивного преобразователя; *6* – сумматор; *7* – переключатель рода работ; *8* – регистрирующий прибор; *9* – обмеряемая труба

Более универсальный измерительный прибор «Центр» предназначен для измерения параметров трубы непосредственно на станке, а именно:

– разностенности;

– толщины стенки;

– радиального биения (величины эксцентриситета) осей наружной и внутренней поверхностей относительно оси вращения трубы.

Измерительный блок прибора «Центр» (рис. 2.142) крепится хвостовиком *4* в суппорте станка и подводится к наружной поверхности измеряемой трубы до соприкосновения с ней ультразвукового преобразователя *2*.

При вращении трубы непрерывно определяется текущая толщина стенки $T'_{тек}$, а при необходимости – разностенность $\Delta T = T'_{тек} - T''_{тек}$.

Индуктивный преобразователь *3* своим штоком *5* касается ультразвукового преобразователя и измеряет радиальные биения наружной поверхности. Измерительный блок благодаря шаровому шарниру самоустанавливается относительно обмеряемой поверхности трубы.

Замер текущей толщины стенки $T'_{тек}$ и текущего радиуса вращения трубы $R_{вр.тек}$ позволяет вычислить текущий радиус канала и, при несовпадении центра канала и центра наружной поверхности с центром вращения трубы (наиболее общий случай), радиус биения этого центра канала – $e_{кан}$ (рис. 2.143, *а*).

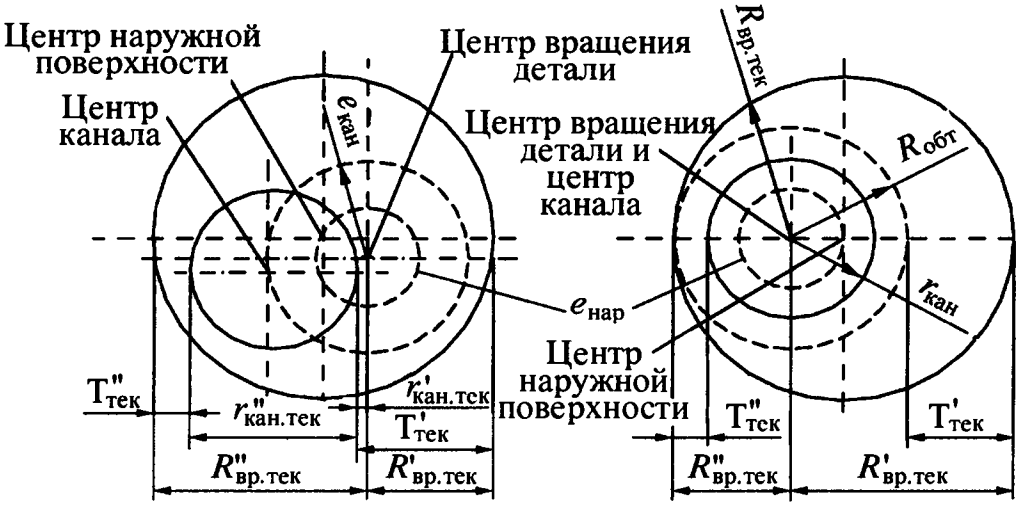


Рис. 2.143. Варианты расположения центров канала, наружной поверхности, и центра вращения детали: *а* – общий случай расположения центров; *б* – случай совпадения центров канала и вращения

Большое практическое значение имеет случай, когда центр вращения детали и центр канала совмещены (рис. 2.143, *б*). Здесь последующее обтачивание с радиусом $R_{обт}$ наружной поверхности дает минимальную разностенность трубы.

На практике этот случай реализуется деформированием трубы на токарном станке в вертлюжном люнете (схема такого люнета дана на рис. 2.79) при постоянном контроле прибором «Центр».

Обычно задача получения минимальной разностенности решается по схеме рис. 2.144 (аналогичная схема приведена на рис. 2.80).

Последовательность действий здесь следующая:

– установка трубы на токарном станке и замер в необходимом месте величины биения оси канала e (рис. 2.144, *а*) относительно оси вращения;

– деформирование трубы в радиальном направлении кулачками-вертлюжного люнета до получения $e_{кан} = 0$ (рис. 2.144, *б*);

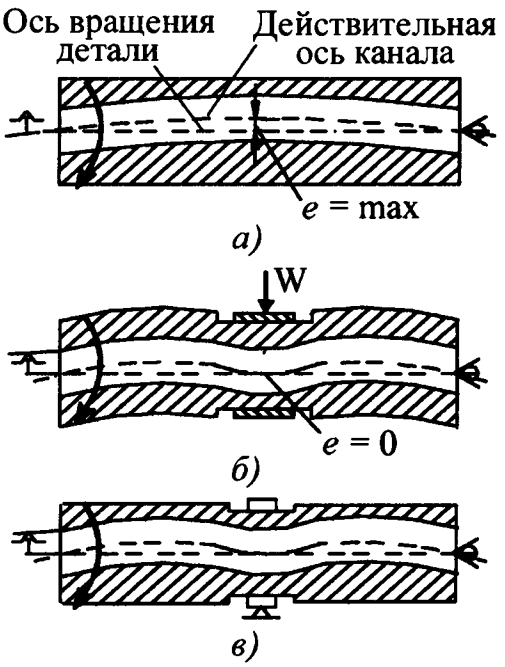


Рис. 2.144. Схема получения меньшей разностенности трубы при обтачивании

– обтачивание в этом месте шейки под нормальный люнет. Шейка при этом получается эквидистантной каналу;

– базирование трубы на проточенную шейку и обтачивание трубы по наружной поверхности (рис. 2.144, *в*).

Разностенность обточенной трубы уменьшается за счет приближения действительной оси канала к оси вращения станка по всей длине трубы.

Основные технические характеристики прибора « Центр»:

наружный диаметр измеряемой трубы, мм	80...350
диапазон измерения радиального биения и разностенности, мм	0...10
диапазон измерения толщины стенки, мм	5...65
допускаемая погрешность измерения радиального биения и разностенности, мм	0,1
допускаемая погрешность измерения толщины стенки Т, мм	0,1...0,01
время измерения всех параметров в одном сечении, мин	3

2.14.1.4. Проверка дульного угла

Под дульным углом δ (см. рис. 2.2) понимают угол между геометрической осью канала и касательной, проведенной к действительной оси канала в дульном срезе (рис. 2.145).

Касательная к действительной оси в дульном срезе определяется приборами, установленными на поверхность канала с базой в 1,5...2 калибра канала.

Традиционно считается, что дульный угол влияет на меткость орудия.

Для некоторого компенсирования влияния этого угла по техническим требованиям его стремятся расположить в вертикальной плоскости (в плоскости стрельбы) с направлением вверх.

На дульном срезе плоскость стрельбы и направление дульного угла вверх показывает стрелка, выбитая ударным клеймением.

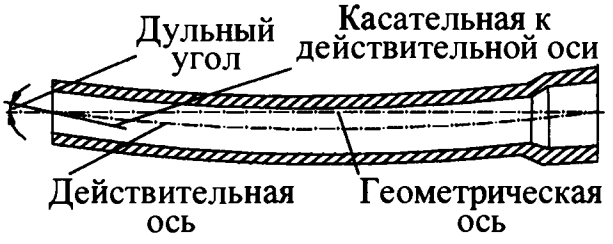


Рис. 2.145. Схема определения дульного угла

Такое размещение дульного угла позволяет за счет весового прогиба ствола уменьшить его истинную величину и исключить его влияние на боковое рассеивание. Требования по величине дульных углов для некоторых систем приведены в табл. 2.64.

2.64. Допускаемые величины дульных углов

Система	Калибр, мм	Допускаемая величина дульного угла			
		В вертикальной плоскости		В горизонтальной плоскости	
		Угловые значения	Тысячная дистанции	Угловые значения	Тысячная дистанции
ЗИС-2	57	7′12″	2	–	–
С-60	57	7′12″	2	–	–
ЗИФ-72	57	3′36″	1	1′48″	0,5
ЗИФ-67	76	5′30″	1,5	2′42″	0,75
2А-20	115	7′12″	2	–	–
2А-17	122	7′12″	2	–	–
М-46	130	7′12″	2	–	–

Измерение дульного угла ведется при горизонтальном расположении ствольной трубы. Труба укладывается на роликовые призмы, располагаемые в районе дульного и казенного торцов. На призмах труба может легко проворачиваться относительно своей оси, что необходимо для компенсации ее весового прогиба при замерах.

Схема замера дульного угла показана на рис. 2.146.

Из рис. 2.146, *а* видно, что замеренный дульный угол δ_1 будет больше действительного угла δ на величину $\delta_{вес}$, т.е. $\delta_1 = \delta + \delta_{вес}$.

Из рис. 2.146, *б* следует, что замеренный дульный угол δ_2 по сравнению с действительным углом δ уменьшается:

$$\delta_2 = \delta - \delta_{вес}.$$

Отсюда действительный дульный угол может быть вычислен как

$$\delta = (\delta_1 + \delta_2)/2.$$

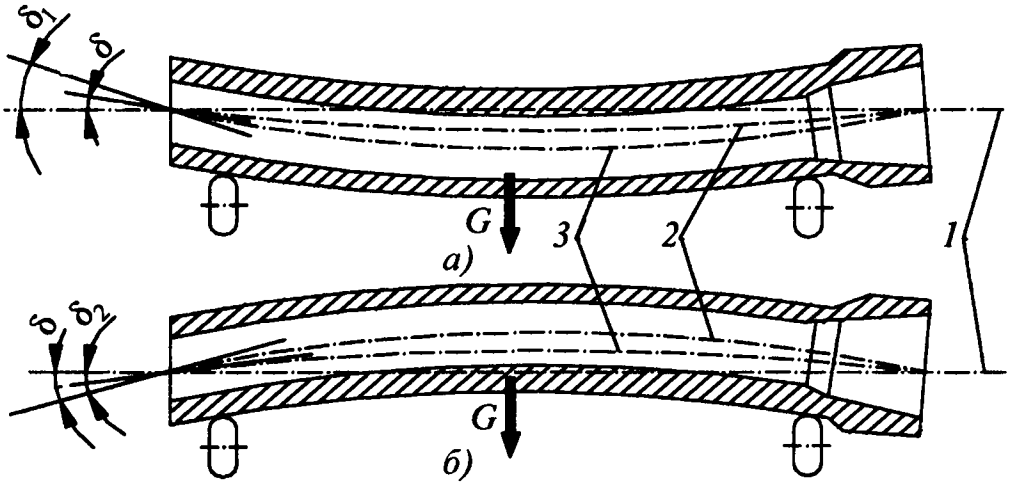


Рис. 2.146. Схема замера дульного угла с учетом весового прогиба трубы:
а – первоначальное положение трубы; *б* – после поворота трубы на 180°;
1 – геометрическая ось канала; *2* – действительная ось канала без учета весового прогиба трубы; *3* – действительная ось канала с учетом весового прогиба трубы

Здесь углы δ_1 и δ_2 принимаются со своими знаками и, согласно схеме, положительные их значения будут для δ_1 при направлении вверх и для δ_2 при направлении вниз.

Измерение дульного угла в настоящее время производится приборами:

– калибром-линеалом и квадрантом с пузырьковым уровнем;

– оптико-электронными приборами на базе ОКГ;

– оптическими приборами.

Наиболее старый – первый способ.

На рис. 2.147 приведен калибр-линеал для замера дульного угла гладкоствольной танковой пушки 2А-20.

Собственно калибр *3* длиной в 1...1,5 диаметра канала имеет площадку *2*, на которой устанавливается квадрант. Для ликвидации перекоса калибра в стволе предусматривается противовес *4*.

К некоторым геометрическим и весовым соотношениям прибора предъявляются довольно высокие требования: рабочий диаметр калибра *3* выполняется по посадке H7/g5, непараллельность плоскости площадки 2 и оси опорной поверхности калибра – 0,01 мм, смещение центра тяжести всего устройства с установленным квадрантом от вертикальной оси, проходящей через середину калибра, допускается в пределах 10...15 мм, шероховатость базовой поверхности калибра *Ra* 0,16.

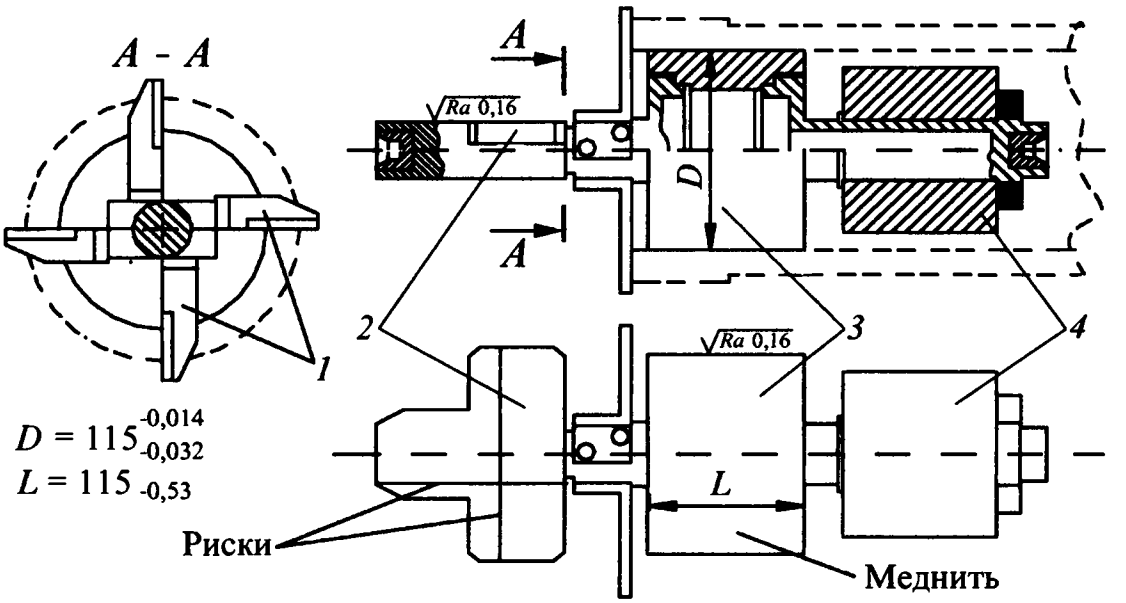


Рис. 2.147. Конструкция калибра-линеала для определения дульного угла трубы пушки 2А-20:

1 – лапки для разметки рисок на дульном торце; *2* – площадка для квадранта; *3* – калибр; *4* – противовес

Измерение дульного угла этим способом производится при повороте ствольной трубы вокруг своей оси через каждые 45°.

Перед определением угла δ площадка калибра выставляется в горизонтальной плоскости по уровню квадранта, установленного вдоль поперечной риски. Ствольная труба устанавливается таким образом, чтобы дульный угол с максимальным значением лежал в вертикальной плоскости и был направлен в вверх.

После определения плоскости максимального дульного угла по лапкам размечаются риски на дульном торце для последующей выверки прицельных приспособлений.

Существенными недостатками такого метода являются:

– возможность расположения плоскости максимального дульного угла с погрешностью ± 22,5° от плоскости стрельбы;

– значительная трудоемкость и тщательность процесса обмера (в техпроцессах время на замер дульного угла предусматривается порядка 1,5 часов);

– громоздкость и большая масса всего устройства;

– невозможность автоматизации процесса замера дульного угла;

– относительно невысокая точность замера собственно дульного угла.

Как видно из табл. 2.64, допуски на величину дульного угла лежат в большинстве случаев в пределах 7′12″ (0...02 тыс. дист.), а цена деления отсчетного устройства квадранта равна 3′36″ (0...01 тыс. дист.).

Избежать некоторых из названных недостатков позволяют приборы, использующие для имитации касательной к действительной оси в дульной части либо ОКГ, либо оптическую трубу.

Схема прибора «Луч» с лазером показана на рис. 2.148.

В ствольную трубу *4*, установленную на роликовых призмах, с дульной части вставляется на центрирующих кольцах *1* прибор *3* с встроенным в него газовым лазером и коллимирующей оптикой. За счет центрирующих колец прибор должен занять такое положение, при котором его ось будет касательна к действительной оси канала трубы в дульной части. Прибор вдоль своей оси испускает коллимированный до диаметра в 1 мм луч света *2*, который может наблюдаться на экране-марке *6*, помещенной в центрирующее устройство *5*. Очевидно, что пятно луча *2* на экране *6* без промежуточных замеров должно показать направление (положение плоскости) максимального дульного угла. Поворотом трубы *4* на роликовых опорах его легко можно вывести в вертикальную плоскость. Исключение весового прогиба производится так же, как и в предыдущем случае, проворотом трубы *4* на 180°.

На рис. 2.149 показано центрирующее устройство *5* с отсчетным экраном-маркой *6*.

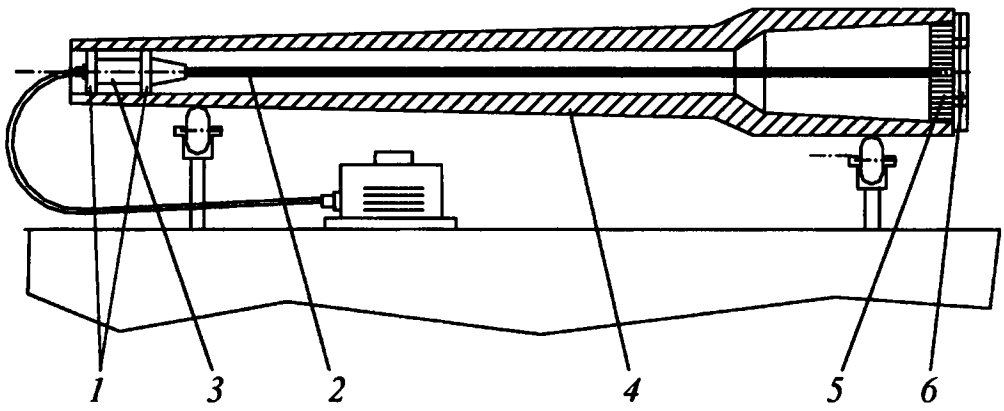


Рис. 2.148. Схема работы прибора «Луч» для замера дульного угла:
1 – центрирующие кольца; *2* – луч ОКГ; *3* – газовый ОКГ с коллимирующей оптикой; *4* – обмеряемая труба; *5* – центрирующее устройство; *6* – экран-марка

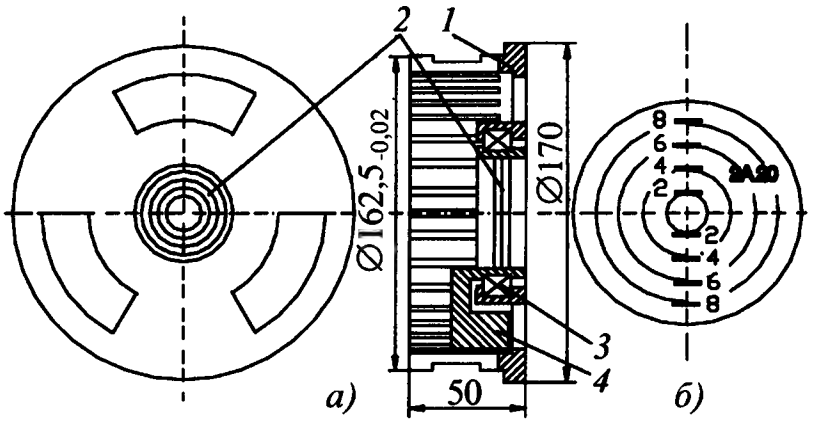


Рис. 2.149. Центрирующее устройство с отсчетным экраном-маркой:
а – конструкция центрирующего кольца; *б* – вид шкалы отсчета экрана-марки;
1 – корпус-цанга; *2* – экран-марка; *3* – шарикоподшипник; *4* – груз-отвес

Корпус *1* центрирующего устройства (цанга) за счет большого числа лепестков с некоторым натягом входит в казенный участок большого конуса каморы. Экран-марка *2* грузом *4* благодаря подшипнику качения *3* располагается так, что ось прозрачной шкалы отсчета экрана-марки всегда расположена вертикально. Эта вертикальная ось наглядно показывает положение плоскости стрельбы.

Основные технические характеристики такого прибора:

диапазон измеряемых углов, мин	08
погрешность измерения угла, мин	± 0,5
диаметр пятна на экране-марке, мм	1,0
габаритные размеры оптического блока прибора, мм:	
диаметр	108
длина	635

На заводах нашло применение приспособление для измерения дульного угла, основанное на аналогичной схеме, только вместо лазерного луча касательной в дульной части к действительной оси канала является ось визирной оптической трубы. Погрешность измерения дульного угла этим приспособлением составляет 0,2°.

Замер дульного угла этим приспособлением производится на том же стенде, где измеряются разностенность и непрямолинейность канала.

2.14.1.5. Проверка размеров конусов камор

Измерение правильности изготовления размеров конусов камор практически всегда, осуществляется калибрами-дисками.

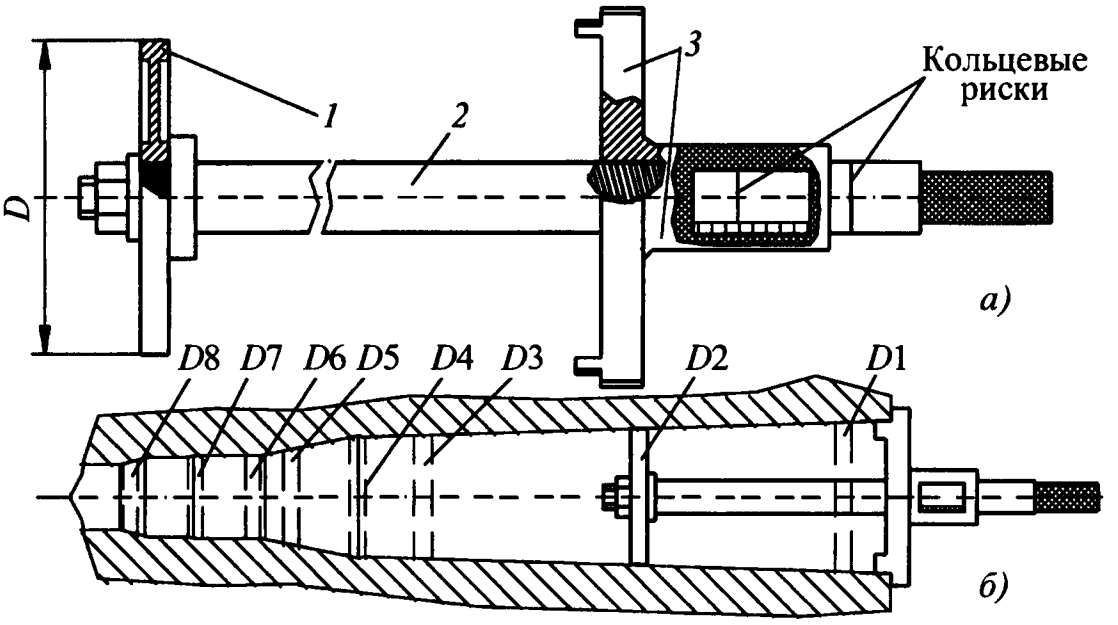


Рис. 2.150. Принцип замера конусов каморы: *а* – конструкция калибра для замера конусов камор; *б* – схема замера конусов каморы набором дисков; *1* – контрольный диск; *2* – штанга; *3* – опора-указка

На рис 2.150 показаны конструкция калибра для определения размеров конусов каморы пушки 2А-20 и схема обмеров ее каморы.

Из рис. 2.150, *б* видно, что в каморе задаются определенные сечения, в которые должны попасть жесткие диски *1*. Истинное положение диска-калибра в каморе фиксируется по положению штанги *2* в окне опоры-указки 3. Диски *1* изготавливаются весьма точно (в пределах 0,005... 0,01 мм).

На штанге *2* в необходимом месте нанесена кольцевая риска, которая на шкале опоры-указки *3* показывает истинное расстояние калибра-диска заданного диаметра, а значит, и такого же диаметра конуса каморы от казенного среза трубы.

Часто шкала опоры-указки имеет две кольцевые риски, расстояние между которыми есть допуск на расположение определенного диска в каморе.

Диски изготавливаются быстросменными с возможностью использовать только одну штангу и опору-указку.

Безусловно, такая схема замеров занимает значительное время, но из-за своей простоты применяется как на окончательных контрольных операциях, так и на рабочих местах при растачивании и отделке камор.

В опытном варианте изготавливались измерительные приборы для обмера конусов камор на основе индикаторных нутромеров или иных устройств, но они не нашли широкого распространения на производстве.

2.14.1.6. Проверка соосности канала и каморы

Соосность канала и каморы оговаривается в ТУ и проверяется у каждой изготавливаемой трубы.

Проверка соосности каморы и канала осуществляется комбинированными или однопредельными калибрами.

Схема работы комбинированного калибра показана на рис. 2.151.

Принцип действия такого калибра заключается в следующем.

Два диска базируются на первый конус каморы. Штанга соединяющая эти диски проходит через ось каморы. На штангу крепиться третий диск (контрольный), который вставляется в канал трубы

Диаметр $d_д$ диска согласован с диаметром канала трубы таким образом, чтобы выполнялось требование по соосности каморы и канала.

При продвижении валика с диском $d_д$ в канал на определенную длину можно судить о допустимой величине эксцентриситета осей e (рис. 2.151, *а*) или изломе осей – угле α (рис. 2.151, *б*). Эти величины легко определяются:

$$e = (d_{кан} - d_д) / 2 \text{ и } \alpha = \text{arctg}\,(AB / BC),$$

где $BC = L$ – глубина продвижения валика с диском $d_д$ в канал, а $AB = e$.

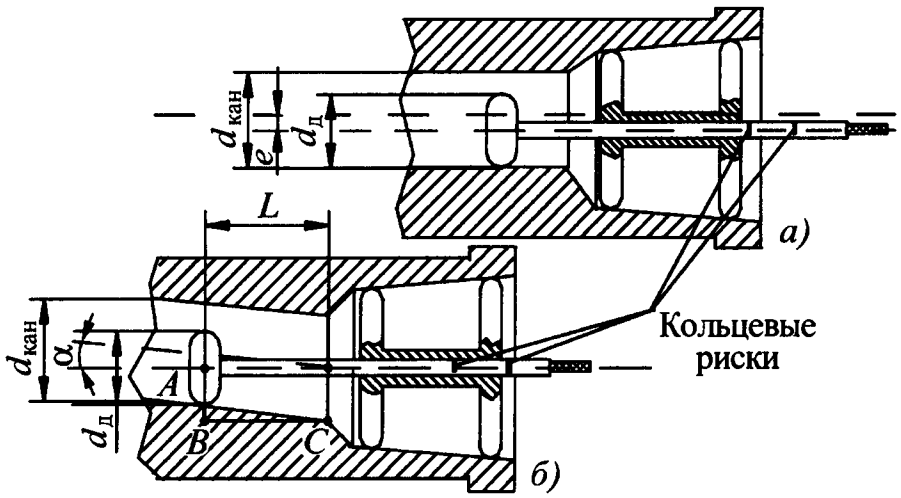


Рис. 2.151. Схема замера комбинированным калибром несоосности канала и каморы: *а* – при допустимом эксцентриситете; *б* – при изломе их осей

В табл. 2.65 приведены расчетные значения e и α без учета их взаимовлияния для некоторых ствольных труб.

2.65. Расчетные величины несоосности канала и каморы

Система	Калибр трубы $d_{кан}$, мм		Диаметр диска $d_д$, мм		L_{min}, мм	e, мм		α_{max}, "
	min	max	min	max		min	max	
2А-24	100,00	100,10	99,68	99,70	300	0,15	0,21	2,4
2А-20	115,00	115,15	114,83	114,85	380	0,07	0,16	1,5
М-46	130,00	130,15	129,73	129,74	410	0,13	0,21	1,8

Примечание. L_{min} – минимально допустимая величина вхождения контрольного диска в канал.

Конструкция **комбинированного калибра** для проверки каморы танковой пушки 2А-20. приведена на рис. 2.152, *а*.

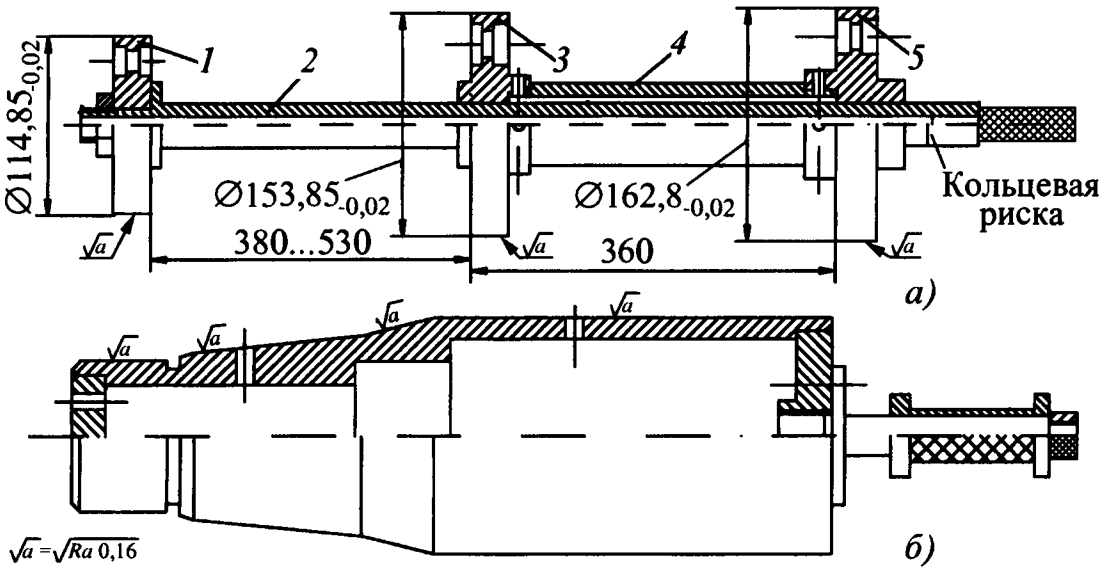


Рис.2.152. Калибры для проверки соосности канала и конусов каморы:
а – комбинированный для проверки соосности канала и каморы танковой пушки 2А-20; *б* – однопредельный на общий контур каморы; *1* – контрольный диск; *2* – шток; *3*, *5* – диски каморы; *4* – соединительная труба

Однопредельный калибр для проверки соосности каморы и канала выполняется по контуру каморы. На рис. 2.152,*б* показана конструкция такого калибра. Эти калибры обрабатываются с высокой степенью точности (по 6...7 квалитетам), и с малой шероховатостью (*Ra* 0,16) поверхности.

Калибры снабжены рисками, по которым относительно казенного торца ствольной трубы оценивается глубина входа калибра в камору. Калибры делаются полыми, а для уменьшения трения о стенки каморы их поверхность омедняют.

2.14.1.7. Проверка наружных размеров ствольных труб

Наружные диаметральные размеры труб контролируются общемашиностроительными средствами: микрометрами, штангенциркулями, предельными скобами и даже кронциркулями (при предварительной обработке или при измерении поверхностей, не сопряженных с другими деталями).

Наружные линейные размеры проверяются металлическими линейками, штангенциркулями, предельными шаблонами. Специфическими здесь, пожалуй, являются шаблоны для проверки линейных размеров: расположения буртов, уступов, всей длины трубы.

На рис. 2.153 показан такой шаблон для контроля окончательных размеров ствольной трубы.

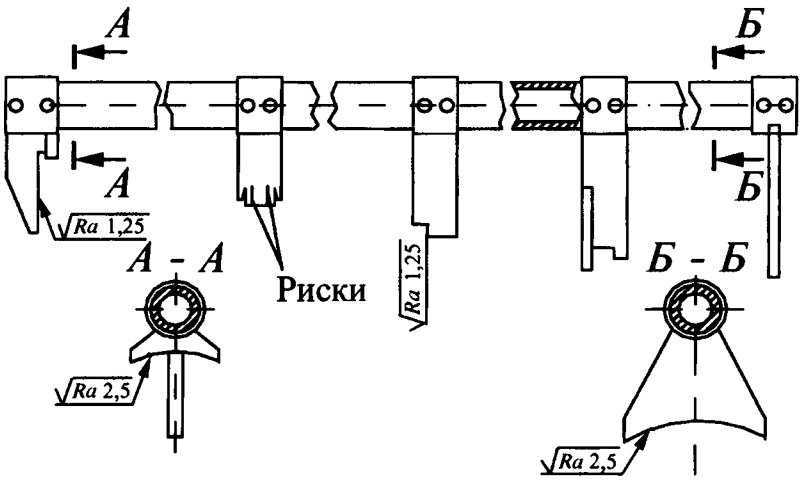


Рис. 2.153. Шаблон для проверки расположения наружных уступов ствольной трубы

Конструкция шаблона чрезвычайно проста. На металлической штанге (стальной трубе) в необходимых местах крепятся кронштейны с рисками и уступами, которые показывают предельные отклонения размеров обмеряемой трубы. Шаблоны громоздки, требуют для своего хранения специальных стеллажей. Они не дают истинных размеров обмеряемых поверхностей, но, несмотря на названные недостатки, широко применяются на заводах вследствие своей простоты и малого потребного времени контроля.

2.14.2. Оценка шероховатости поверхности канала и каморы

Шероховатость поверхности канала и каморы в процессе изготовления трубы оценивается неоднократно.

Для осмотра и регистрации состояния поверхности используются специальные приборы – технические эндоскопы или, как их называют, приборы для *ревизии внутренней поверхности* (РВП).

Технические эндоскопы для осмотра глубоких каналов выполняются в виде прямолинейной трубы с осветителем зоны осмотра, объективом, промежуточной оптикой и окуляром. В зависимости от типа объектива (рис. 2.154), его поля зрения и дополнительных призм и зеркал, исследуемые поверхности могут располагаться достаточно разнообразно.

В качестве осветителей используются электрические лампы накаливания.

Для предотвращения прямого попадания лучей света от лампы в объектив и ослепления наблюдателя, между лампой и объективом размещаются экраны.

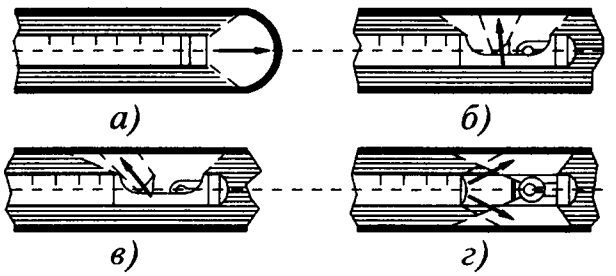


Рис. 2.154. Схемы конструкции объективной части эндоскопов:
а – для торцевых поверхностей; *б* – для детального без искажений осмотра поверхности канала; *в* – для осмотра обратных торцевых поверхностей; *г* – для кругового (панорамного) осмотра каналов за счет объектива с большим углом поля зрения (до 160...170°)

Иногда эти экраны располагаются непосредственно на колбе лампы.

В зависимости от применяемой оптической системы эндоскопа исследуемая поверхность может получить искажения. При использовании панорамных (широкоугольных) объективов эти искажения бывают значительными.

Осмотр внутренней поверхности глубокого канала чаще всего ведется непосредственно оператором. Для удобства наблюдения окуляры могут быть выполнены в виде перископических бинокуляров. Фиксация результатов осмотра может быть произведена насадными фотокамерами.

Более удобное наблюдение состояния внутренней поверхности может вестись с применением технических телевизионных систем. Передающие камеры их размещаются внутри прибора у объектива. Размеры передающих телевизионных камер позволяют осматривать каналы с диаметрами от 16 мм.

Но, к сожалению, на большинстве заводов сейчас эксплуатируется достаточно устаревший эндоскоп – РВП456, позволяющий осматривать ствольные трубы калибром 37...400 мм. Его конструкция и оптическая схема представлены на рис. 2.155.

Прибор состоит из четырех полутораметровых труб. Осветитель и объектив смонтированы на основной трубе *8*. Прибор позволяет вести осмотр канала как при «круговом зрении» за счет широкоугольного объектива (угол поля зрения равен 70°), так и при «боковом зрении» – за счет имеющегося перед объективом зеркала с углом наклона 45°.

С увеличением диаметра осматриваемой поверхности уменьшается увеличение прибора. При диаметре канала 37 мм увеличение прибора при боковом зрении – ×10,4, а при диаметре 356 мм – ×1,1. Одновременно увеличивается поле зрения с 26 до 250 мм.

Оценка размеров дефекта производится по масштабной линейке, имеющейся на приборе в поле зрения объектива, а определение шероховатости – визуально путем сравнения с эталонами.

Для оценки состояния поверхности канала прибором РВП составлены снимки – шкалы балльности дефектов. Примеры некоторых дефектных зон приведены на рис. 2.156, 2.157.

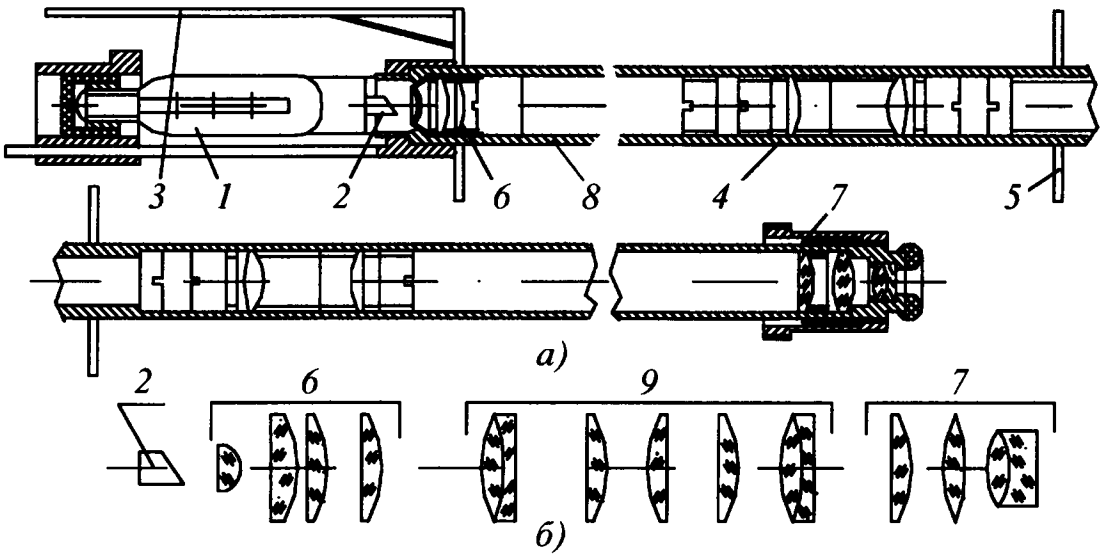


Рис. 2.155. Технический эндоскоп РВП456: *а* – конструкция; *б* – оптическая схема; *1* – лампа-осветитель; *2* – зеркало «бокового зрения»; *3* – масштабная линейка; *4* – наружная труба-корпус; *5* – центрирующий диск; *6* – объектив; *7* – окуляр; *8* – основная труба; *9* – оптическая система промежуточных труб

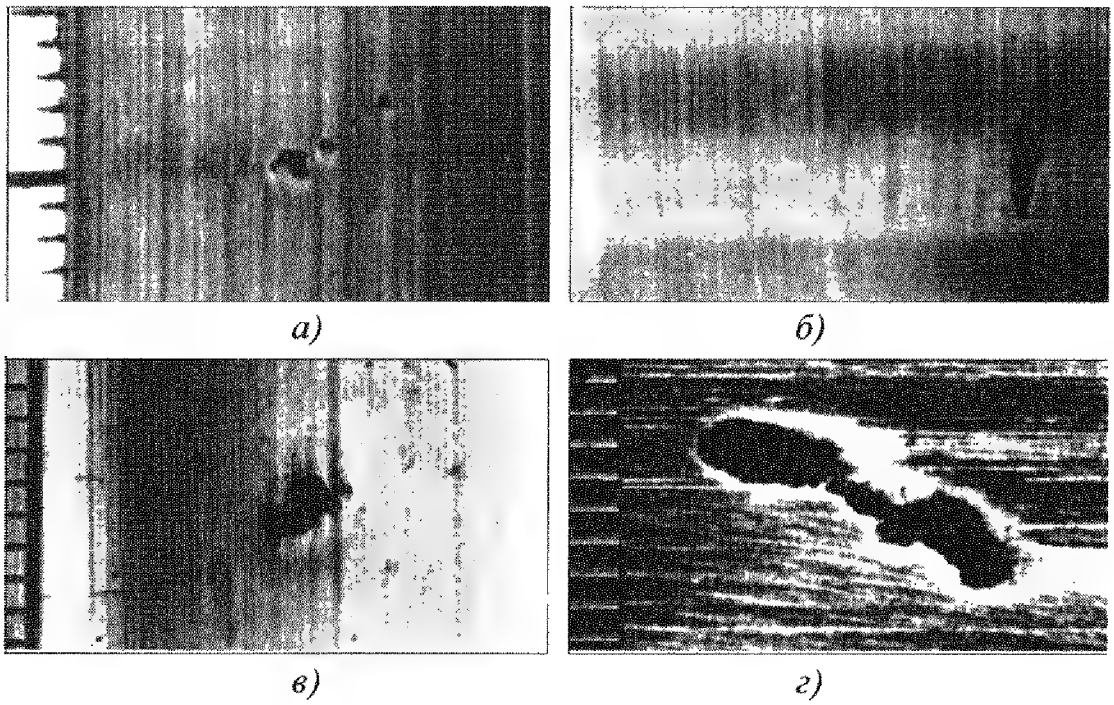


Рис. 2.156. Шкала балльности дефектов поверхности канала гладкой ствольной трубы (цена деления масштабной шкалы – 1 мм): *а* – один балл; *б* – два балла; *в* – три балла; *г* – четыре балла

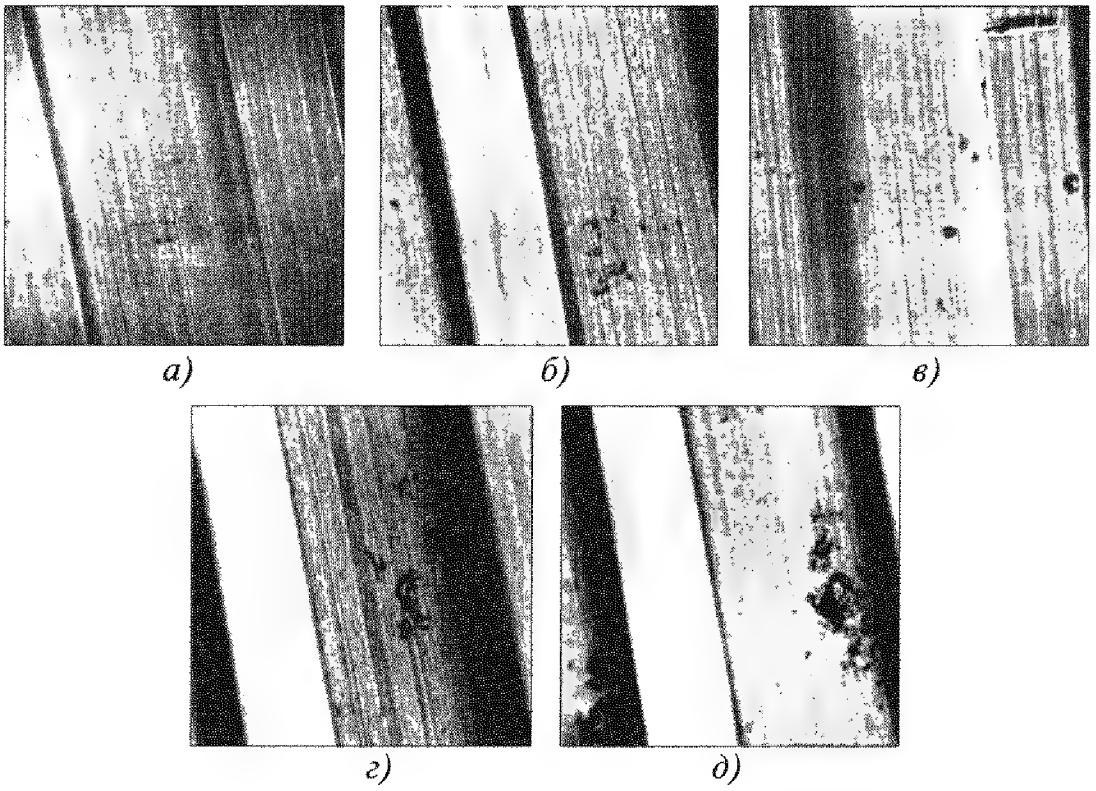


Рис. 2.157. Шкала балльности дефектов поверхности канала нарезной ствольной трубы: *а* – один балл; *б* – два балла; *в* – три балла; *г* – четыре балла; *д* – пять баллов

Рис. 2.156 и рис. 2.157 выполнены в одинаковом масштабе.

Шкалы балльности составлены из видов дефектов, встречающихся в процессе изготовления ствольных труб. Снимки получены при помощи фотонасадок на прибор РВП. Представленные на рис. 2.156 и 2.157 примеры – часть вариантов возможных дефектов.

На рис.2. 156, *г* и рис. 2.157, *д* представлены дефекты, при которых ствольные трубы выбраковываются и становятся либо стволами учебных систем, либо идут в переплавку.

В случае необходимости оценить шероховатость поверхности канала или каморы приборами прибегают к методу слепков. Суть метода заключается в том, что к исследуемой поверхности прижимается пластичная масса, которая после некоторой выдержки принимает зеркальную форму рельефа поверхности детали. После этого слепок извлекается и измеряются чаще всего на приборах светового сечения (двойных микроскопах).

В качестве материалов слепков применяются:

– целлулоидные пластинки, одна плоскость которых размягчена в ацетоне. После испарения ацетона образец подкрашивается и обмеряется;

– подогретый восковой или парафиновый образец. Также перед обмером подкрашивается;

– расплавленная сера. Образец прочный, долго сохраняющийся, но на поверхности детали возможны потемнения за счет образования сернистых соединений;

– мастика на основе гуттаперчи бересклета.

Эта мастика наиболее удобна при применении. Слепки из нее сохраняются в закупоренной таре в течение нескольких лет. Возможно многократное использование таких слепков.

Погрешности в оценке шероховатости методом слепков составляют порядка одного класса в сторону ее улучшения. Реально шероховатости методом слепков могут быть измерены до $Ra = 2{,}5\ldots1{,}25$ мм.

2.14.3. Схемы проверки ствольных труб на наличие несплошностей и инородных включений

Для выявления несплошностей в ствольных трубах в виде трещин, раковин, флокенов, неметаллических включений и т.п. заготовки и готовые трубы подвергаются проверке на магнитных и ультразвуковых дефектоскопах. Детали при этом не разрушаются.

2.14.3.1. Проверка на магнитных дефектоскопах

Метод позволяет выявлять невидимые глазом дефекты, расположенные на поверхности детали и распространяющиеся в глубь металла.

Основная идея метода: проверяемая деталь намагничивается, и ее поверхность покрывается мелкодисперсным магнитным порошком. Чаще всего этот порошок взвешен в жидкости, и этой магнитной суспензией поливается испытуемая поверхность детали. За счет нарушения потока магнитно-силовых линий при наличии дефекта в поверхностном слое детали образуется дополнительная пара магнитных полюсов (рис. 2.158).

Эти магнитные полюсы притягивают частицы магнитного порошка более интенсивно. По скоплению магнитных частиц оператор может зафиксировать размеры и форму дефекта.

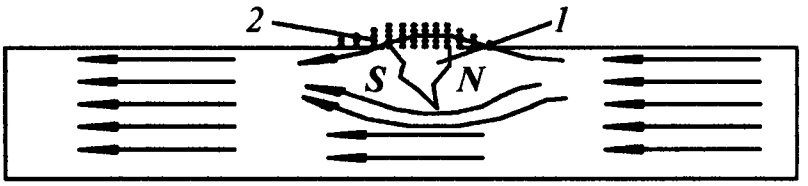


Рис. 2.158. Схема концентрации магнитного порошка в районе поверхностной трещины намагниченной детали:
1 – дефект; *2* – порошок

Наиболее благоприятное расположение дефекта с точки зрения его выявления – перпендикулярно магнитному потоку. Поэтому в зависимости от требований, предъявляемых к детали, в ней может быть наведено или циркулярное магнитное поле (рис. 2.159), выявляющее продольные дефекты, или продольное магнитное поле (рис. 2.160), выявляющее поперечные дефекты.

В большинстве техпроцессов предусмотрена проверка ствольных труб при циркулярном намагничивании, так как продольные дефекты наиболее опасны при действующих в стволах нагрузках.

Проверка деталей на магнитном дефектоскопе:

– намагничивание детали;

– нанесение на намагниченную деталь суспензии, содержащей магнитный порошок;

– осмотр поверхности детали;

– размагничивание детали.

Контроль ствольных труб производится на остаточном магнитном поле, так как детали проверяются после термической обработки.

В некоторых случаях, особенно при рассмотрении сомнительных участков, полив суспензией может производиться при включенном намагничивающем токе, т.е. в приложенном магнитном поле.

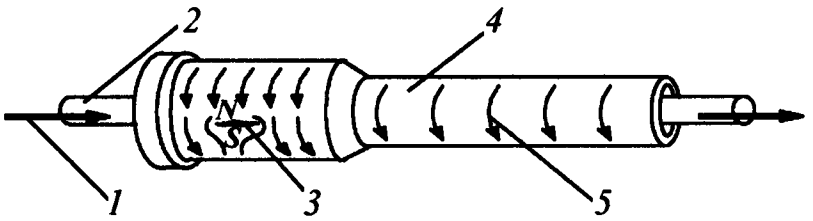


Рис. 2.159. Схема проверки труб при циркулярном намагничивании с применением центрального токонесущего проводника:
1 – намагничивающий ток; *2* – токонесущий проводник; *3* – дефект (трещина); *4* – проверяемая труба; *5* – направление магнитно-силовых линий

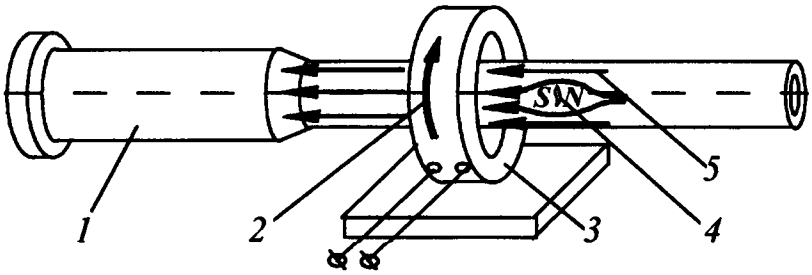


Рис. 2.160. Схема проверки труб при продольном намагничивании: *1* – проверяемая труба; *2* – намагничивающий ток; *3* – намагничивающая катушка; *4* – дефект (трещина); *5* – направление магнитно-силовых линий

Намагничивание производится источниками тока, позволяющими получать необходимую напряженность магнитного поля. Контроль производится по амперметру. В зависимости от размеров детали ток при намагничивании достигает 2000...17000 А. Ориентировочно, величина намагничивающего тока в амперах может быть определена из соотношения: $I = (20...30)D$, где D – наружный диаметр детали в миллиметрах.

Время пропускания тока намагничивания задается электронными реле.

Индикатором дефектов служит магнитный железный порошок марок ПЖ10М...ПЖ50М, смешанный с алюминиевой пудрой в различных пропорциях (от 50/50 до 80/20 соответственно). Наличие алюминиевой пудры в суспензии делает место скопления порошка при наличии дефекта более контрастным. Величина зерен порошка до 50 мкм. Порошки вводятся в жидкую среду, которая представляет собой чаще всего смесь воды с добавками нитрита натрия и эмульгатора ОП-7 или ОП-10. Порошок в этой суспензии находится во взвешенном состоянии.

Суспензия после приготовления проверяется на эталонных деталях с дефектами.

Перед началом смены контролер-оператор проверяет нормальность работы дефектоскопа также на деталях-эталонах с известными дефектами и делает запись в специальном журнале о результатах проверки.

Деталь перед проверкой тщательно протирается от грязи и обезжиривается уайт-спиритом. В противном случае суспензия быстро теряет свои свойства.

В процессе контроля суспензия непрерывно размешивается и под низким давлением, чтобы не смыть частицы порошка с дефектных мест, подается поливом на деталь.

После осмотра одной стороны, труба поворачивается на роликовых призмах на 180°, поливается суспензией и снова осматривается.

Осмотр ведется невооруженным глазом через 1...2 минуты после прекращения полива. В сомнительных случаях допускается применение для осмотра лупы с 2...4-кратным увеличением.

Особое внимание при контроле уделяется зонам переходных сечений, краям выемок, резьбе и другим местным концентраторам напряжений.

Трещины в деталях выявляются в виде ломаных линий с резким плотным осаждением магнитного порошка. Флокены выявляются как отдельные черточки, расположенные в одиночку или группами, также с резким осаждением порошка.

Поверхностные дефекты, имеющие малую высоту по сравнению с шириной, обычно дают нечеткое осаждение порошка.

Магнитный порошок может осаждаться на поверхности и в местах магнитной неоднородности детали по структуре (ферритная, аустенитная, карбидная) или при местном механическом упрочнении из-за удара, вдавливания металлического предмета (например, ударного клеймения или транспортировки тяжелой детали с необшитым мягким материалом стальным тросом).

После проверки на магнитном дефектоскопе все годные детали необходимо размагнитить. Размагничивание производится из-за того, что при эксплуатации намагниченной детали на ней будут осаждаться магнитные микрочастицы атмосферы и трущиеся поверхности начнут интенсивно изнашиваться или заклиниваться.

Размагничивание труб производится циркулярным полем при плавном снижении пропускаемого через проводник постоянного или переменного тока до нуля. Для циркулярного размагничивания деталей применяются магнитные поля в 1,5...2 раза меньшие, чем при намагничивании. Действие постоянного тока при размагничивании более эффективно.

Проверка ствольных труб на магнитном дефектоскопе в процессе механической обработки может повторяться несколько раз. Так, скрепляемые трубы изделий 2А-20, 2А-17 проверяются на магнитном дефектоскопе как до, так и после скрепления.

При контроле ствольных труб на магнитном дефектоскопе должен присутствовать представитель заказчика.

2.14.3.2. Проверка ультразвуковыми дефектоскопами

Проверка ультразвуковыми дефектоскопами (УЗД), как и проверка на магнитных дефектоскопах, позволяет обнаруживать скрытые дефекты

металла заготовки: флокены, трещины, раковины, неметаллические включения, пористость. Но в отличие от магнитных дефектоскопов, выявляющих в основном поверхностные дефекты, ультразвуковые дефектоскопы выявляют дефекты по всей толщине исследуемой детали.

Ультразвуковые дефектоскопы, применяемые для контроля стволь-ных труб, работают по схеме улавливания отраженного от дефекта ультразвукового сигнала (эхо-метод).

На рис. 2.161 показана схема ультразвукового эходефектоскопа при прозвучивании бездефектной части детали и детали с дефектом.

Щуп *1* через излучатель *2* посылает импульс ультразвуковых колебаний в тело исследуемой детали *11*. После прекращения посылки импульса этот щуп становится приемником, в который попадают отраженные волны колебаний от дна (нижней поверхности) детали или дефекта.

В случае отсутствия дефекта в теле детали на экране трубки осциллографа наблюдаются два импульса отражения волн: *7* – от поверхности, по которой сканирует головка щупа, и *8* – от противоположной поверхности (донный импульс). При прозвучивании детали с дефектом, между этими двумя импульсами возникает третий – *9*, импульс отражения ультразвуковых колебаний от поверхности дефекта. По времени запаздывания эхосигнала и по протяженности зоны, в которой этот сигнал наблюдается, можно судить о глубине расположения и размерах дефекта.

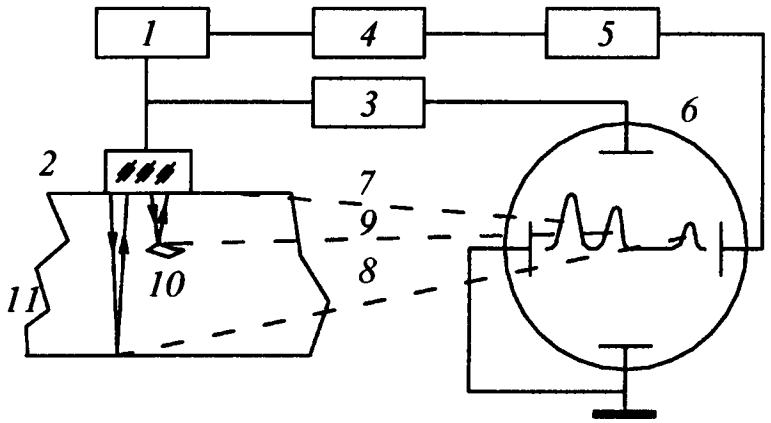


Рис.2.161. Схема ультразвукового дефектоскопа:
1 – щуп; *2* – излучатель УЗ-колебаний; *3*, *4* – усилитель; *5* – генератор УЗ-импульсов; *6* – осциллограф; *7* – импульс отражения волн от поверхности детали; *8* – донный импульс; *9* – импульс отражения волн от дефекта; *10* – внутренний дефект; *11* – исследуемая деталь

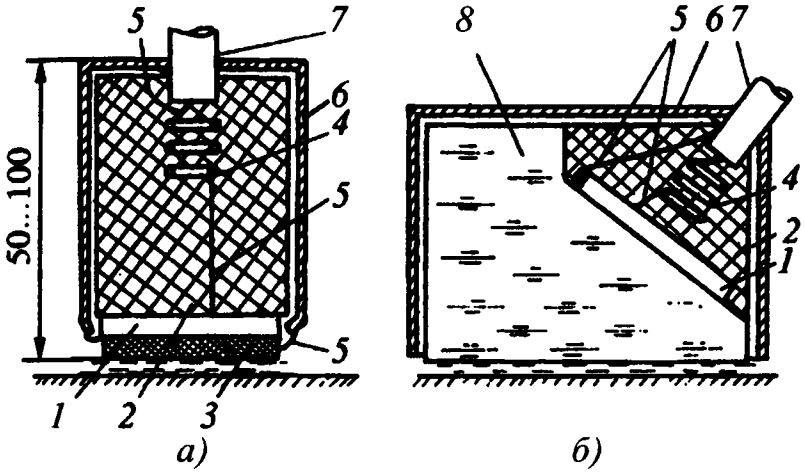


Рис. 2.162. Конструкции ультрозвукового датчика (УЗД):
а – прямого контактного; *б* – наклонного; *1* – пьезопластина; *2* – демпфер; *3* – защитный протектор; *4* – катушка индуктивности для настройки на резонансную частоту; *5* – проводники; *6* – корпус; *7* – кабель; *8* – призма из оргстекла

Конструктивные решения щупов для ультрозвуковой дефектоскопии приведены на рис. 2.162.

В процессе изготовления ствольная труба проверяется после закалки ТПЧ (токами промышленной частоты), перед и после горячего скрепления с кожухом, после окончательной обработки канала.

Большинство проверок ведется прозвучиванием трубы снаружи. Для этого проверяемая поверхность очищается от грязи и смазывается минеральным маслом для улучшения акустического контакта. Шероховатость этой поверхности должна быть не грубее *Ra* 2,5.

Труба лежит на роликовых призмах. По проверяемой поверхности оператор вручную перемещает щуп со скоростью до 5 м/мин. Шаг траекторий перемещения щупаа до 10 мм.

После окончательной обработки канала ультразвуковая дефектоскопия трубы производится приборами имеющими по два датчика, производящими измерения в продольном и радиальном направлении. Щупы имеют механизмы осевого перемещения и вращения. Контроль осуществляется дважды – при прямом и обратном перемещении ультразвукового щупа-излучателя в канале.

Ультразвуковые дефектоскопы позволяют надежно выявлять дефекты с площадью 1...1,5 мм^2 и раскрытием более 0,01 мм.

Перед проведением контроля прибор настраивается по эталонам с известными искусственными дефектами на необходимую чувствительность. На рис. 2.163 показан эталон для настройки ультразвуковых дефектоскопов.

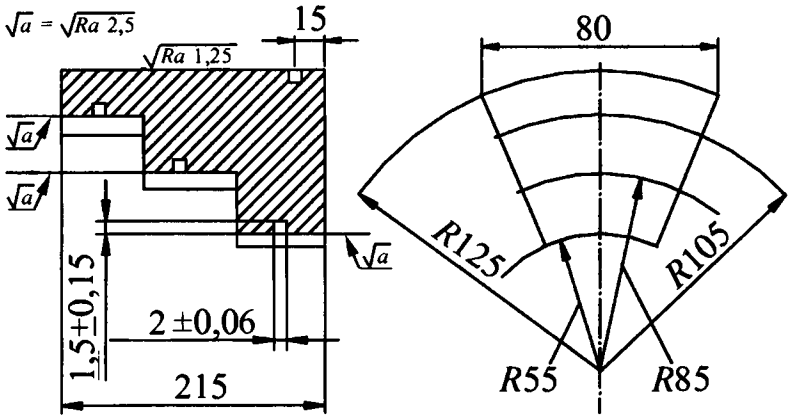


Рис. 2.163. Эталон для проверки и настройки ультразвуковых дефектоскопов

Эталоны изготавливаются из таких же марок стали, что и проверяемые ствольные трубы, и проходят одинаковую с ними термическую обработку. По величине уровня сигнала, полученного при обнаружении дефекта, можно судить о размерах дефекта. Ступени же на эталонах позволяют оценить глубину залегания дефекта.

Деталь считается годной по результатам ультразвукового контроля, если при прозвучивании трубы на экране осциллографа не наблюдается средних сигналов (см. рис. 2.161) или сигналы по амплитуде меньше, чем оговоренные в ТУ на трубу. Например, для трубы танковой пушки 2А-20 предельными дефектами являются дефекты с диаметром 2 мм и глубиной до 1,5 мм.

При превышении дефектами этих размеров деталь в дальнейшее производство не допускается.

2.15. Казенник

Казенник артиллерийской системы относится к командным деталям, так как непосредственно испытывает воздействие от давления пороховых газов при выстреле. Поэтому казенники изготавливаются из высоколегированных сталей, содержащих хром, никель, вольфрам, молибден.

Например, казенники гладкоствольной танковой пушки калибром 115 мм и 130 мм полевой пушки М-46 изготавливались из стали ОХН3М.

Форма казенника – всегда параллелепипед с некоторыми выборками, зависящими от конструкций затворов, крепления в казеннике ствольных труб и противооткатов. На рис. 2.164 показаны основные формы казенников для вариантов вертикального или горизонтального расположе-

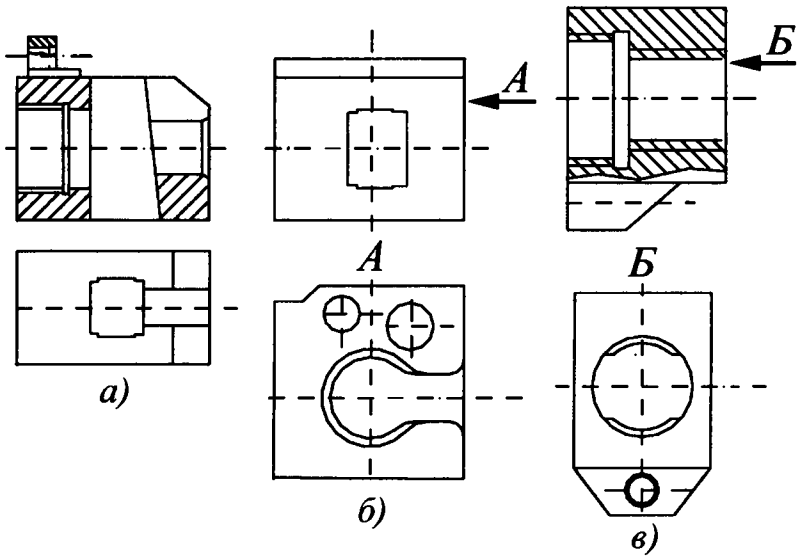


Рис. 2.164. Варианты основных форм казенников: *а* – с вертикальным клином и прикрепляемым кронштейном (бородой); *б* – с горизонтальным клином и размещением цилиндров противооткатов в казеннике; *в* – с поршневым затвором и кронштейном (бородой), выполненной вместе с казенником

ний клина, закрепления штоков или цилиндров противооткатов в самих казенниках или в прикрепляемых к казеннику кронштейнах – «бородах».

Термообработка казенников производится в тех же печах и закалочных баках, что и стволов (рис. 2.165, *д*). В казенниках перед термообработкой для обеспечения полной прокаливаемости в местах будущего расположения клина и под ствольную трубу сверлятся отверстия (рис. 2.165, *б*, *в*).

Практически всегда сверление производится кольцевыми сверлами. Для предотвращения утечек СОЖ во время сверления второго отверстия, торцы просверленного первого отверстия закрываются заглушками.

После сверления острые кромки в отверстиях притупляются снаружи и внутри (рис. 2.165, *г*) при помощи бормашинки. Фаски уменьшают возможность получения трещин во время закалки. Размер этих фасок обычно бывает до 10 мм.

Как и у стволов, основными показателями прочности казенника после термообработки являются:

$\sigma_{пц}$ – предел пропорциональности, МПа;

ψ – относительное сужение, %;

$a_н$ – ударная вязкость, Дж/см^2,

НВ или HRC – твердость соответственно по Бринеллю или Роквеллу.

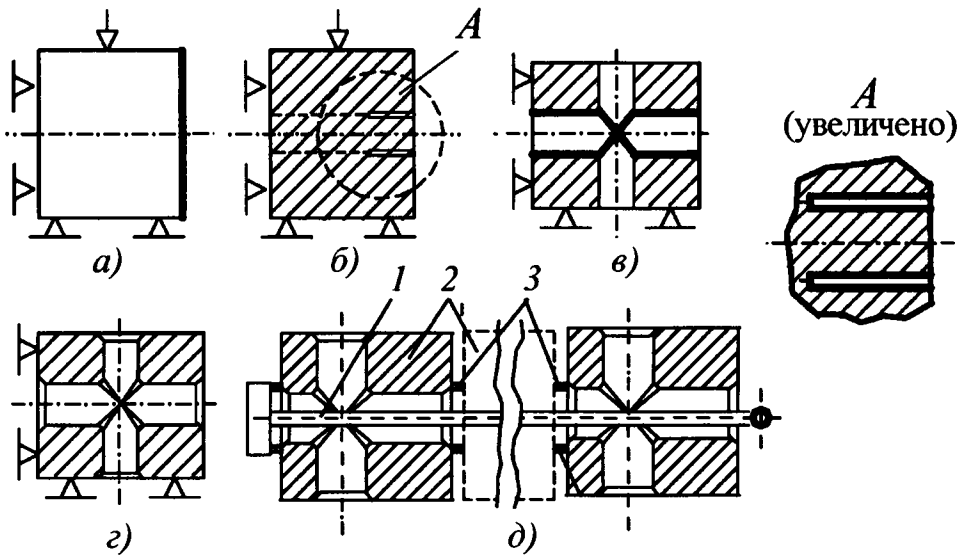


Рис. 2.165. Подготовительные операции обработки казенника перед термообработкой: *а* – предварительное фрезерование боковых сторон заготовки; *б*, *в* – кольцевое сверление крестообразного отверстия; *г* – снятие фасок на острых кромках крестообразного отверстия; *д* – схема блока (садки) заготовок казенников при термообрабтке: *1*– штанга-подвеска; *2* – заготовки казенников; *3* – прокладки (проставки) между заготовками казенников

Механические свойства казенников определяются на стандартных образцах, которые изготавливаются из дисков-темплетов, вырезанных после термообработки заготовки казенника в месте под резьбу крепления ствола (рис. 2.166, *а*).

Вырезка темплетов производится на токарном или токарно-карусельном станке. Сначала прорезается кольцевая проточка на необходимую глубину (толщину броса), а затем внутренним отрезным резцом

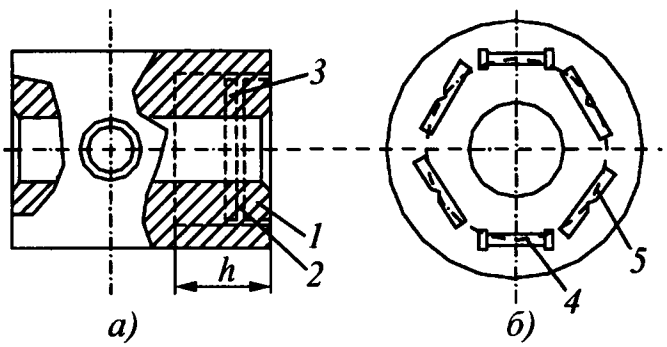


Рис. 2.166. Схема получения образцов для проведения испытаний: *а* – схема вырезки дисков-темплетов; *б* – расположение на диске образцов для механических испытаний; *1* – брос; *2* – ширина реза; *3*– диск-темплет; *4* – образцы «на разрыв»; *5* – образцы «на ударную вязкость»

отрезается брос *1*. После этого прорезается проточка на толщину темплета *3*, и он также отрезается. Толщина броса зависит от диаметра крестообразного отверстия. Например, в заготовке казенника изделия М-46 диаметр этого отверстия равен 160 мм, толщина броса – 35 мм, а толщина диска-темплета – 20 мм. Ширина реза *2* для кольцевой проточки и отрезания броса или диска-темплета составляет 15 мм. Глубины *h* отверстия в казеннике под крепление ствольной трубы хватает на 1...2 повторные термообработки, в случае, если первая оказалась некачественной.

Из темплет изготавливаются стандартные образцы для определения необходимых механических свойств (рис. 2.166, *б*).

Категории прочности казенников обычно бывают несколько ниже, чем у стволов этих систем. Так, например, казенник упоминавшейся гладкоствольной пушки 2А-21 и полевой 130 мм М-46 имеют категорию прочности О-650, а у ствола пушки 2А-21 – О-1000.

Заготовками казенников могут быть поковки из слитков, получаемые на гидравлических прессах, или на многоплунжерных гидравлических прессах и отливки электрошлакового переплава.

Сейчас чаще всего используются поковки из слитков, несмотря на то, что *коэффициент использования металла* (КИМ) при этом варианте составляет 30...35 %.

Для второго варианта КИМ существенно выше – порядка 50 %, но он требует применения очень сложного пресса.

Третий вариант также имеет достаточно высокий КИМ (тоже порядка 50 %), но он не нашел широкого распространения в связи с затрудненной механической обработкой из-за повышенной вязкости металла отливки.

Массы откованных заготовок казенников пушек средних калибров достаточно большие. Так, заготовка казенника танковой пушки 2А-21 имеет массу порядка 1600...1650 кг, а масса полевых пушек с калибром 130...152 мм достигает 2000...2300 кг.

Поковка перед термообработкой обрабатывается фрезерованием, со всех сторон в ней сверлится крестообразное отверстие.

Сверление крестообразного отверстия производится на горизонтально-сверлильных станках (рис. 2.167).

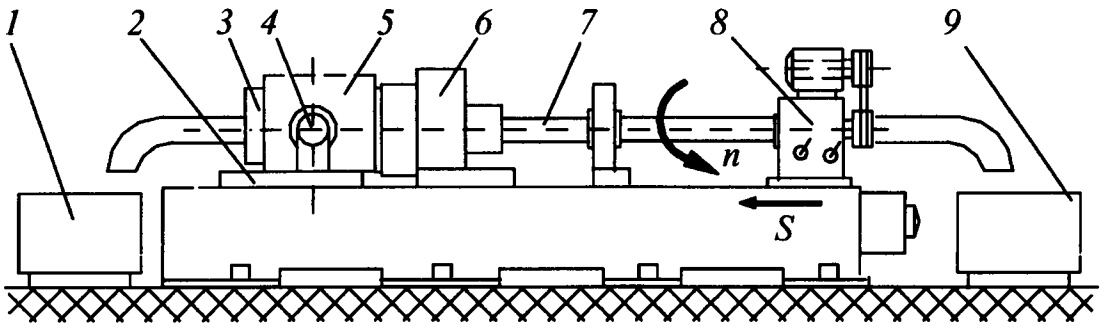


Рис. 2.167. Горизонтально-сверлильный станок: *1* – передний стружкосборник; *2* – стол станка; *3* – стружкопремник; *4* – заглушка; *5* – заготовка казенника; *6* – маслоприемник; *7* – штанга сверла; *8* – шпиндельная бабка; *9* – задний стружкосборник

Заготовка казенника после ковки и предварительного фрезерования боковых поверхностей устанавливается на стол станка и подводится к маслоприемнику *6*. К противоположной поверхности заготовки крепится стружкоприемник *3*. После окончания сверления отверстия в одном направлении заготовка на столе поворачивается на 90° и просверленное отверстие закрывается заглушками *4*. Стружка в процессе сверления отводится в задний стружкосборник *9*, а при выходе сверла из детали – в передний стружкосборник *1*.

Сверло обычно применяется такое же, что и для ствольных труб (рис. 2.168).

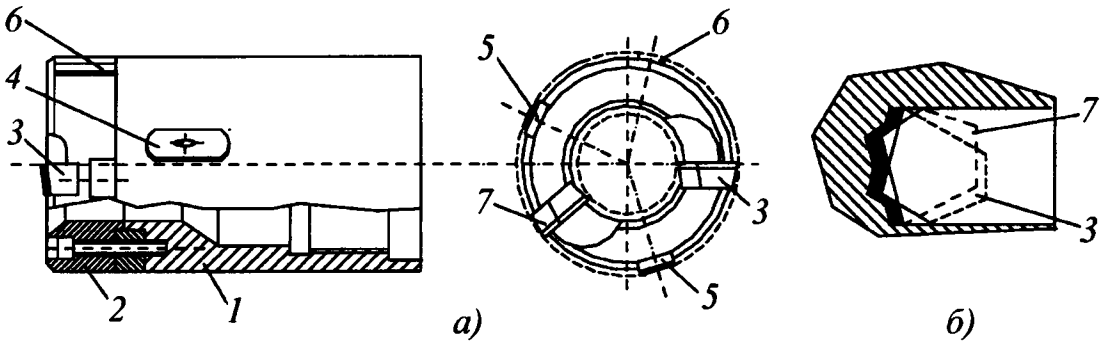


Рис. 2.168. Кольцевое двухрезцовое сверло для сверления крестообразных отверстий в заготовках казенников: *а* – кольцевое двухрезцовое сверло; *б* – схема резания; *1* – корпус; *2* – кольцо крепления резцов; *3*, *7* – резцы; *4* – упругая направляющая; *5*, *6* – жесткие направляющие

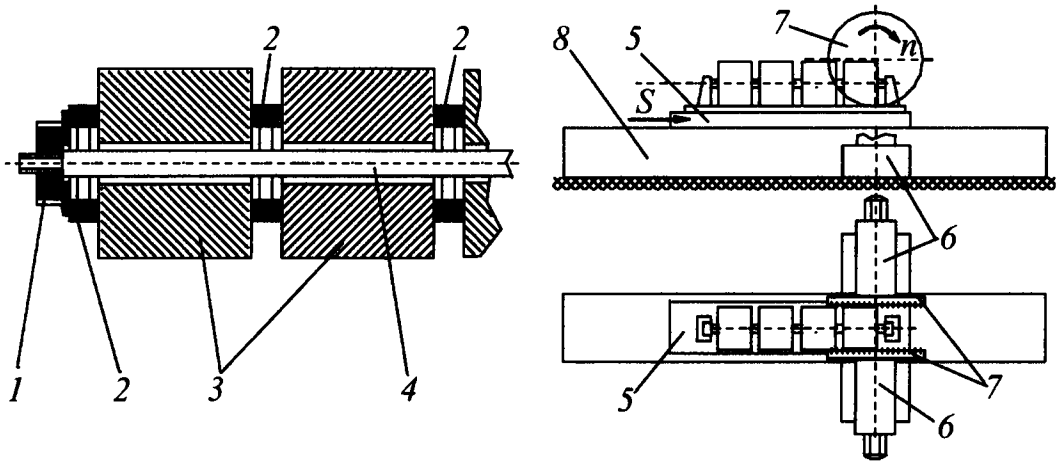


Рис. 2.169. Схема фрезерования боковых поверхностей заготовок казенников:
1 – гайка; *2* – проставочные кольца; *3* – обрабатываемые заготовки; *4* – штанга; *5* – стол станка; *6* – шпиндельные бабки; *7* – торцевые фрезы; *8* – станина станка

После термообработки и проверки механических свойств заготовки вновь проводится фрезерование наружных поверхностей. Для этого применяются продольно-фрезерные станки (рис. 2.169).

Заготовки казенников *3* вначале собираются на штанге *4* или вплотную, или через проставочные кольца *2*, стягиваются гайкой *1* и получают блок заготовок, который устанавливается на стол станка *5*. Станок имеет две шпиндельных бабки *6*, которые вращают фрезы *7*, расстояние между которыми соответствует размеру будущей детали. Кинематика обработки ясна из схемы. Осевые усилия фрезерования уравновешиваются. Благодаря применению крупногабаритных фрез и делению срезаемого слоя за счет определенного расположения резцов, производительность обработки весьма высокая.

Расположение групп резцов и схема срезаемого слоя показаны на рис. 2.170.

Благодаря расположению резцов в группе в виде уступов, суммарная глубина резания $t_{гр}$ получается значительной, т.е. съемы металла с боковых поверхностей за один проход фрезы будут большими. Повышенная производительность такой обработки получается еще и потому, что на таком большом диаметре фрезы размещается несколько групп резцов.

После фрезерования двух противоположных плоскостей блок заготовок поворачивается на 90°, после чего фрезеруются другие пары боковых поверхностей.

Затем заготовки снимают со штанги и уже без проставочных колец снова собирают с возможностью отфрезеровать оставшиеся черные плоскости.

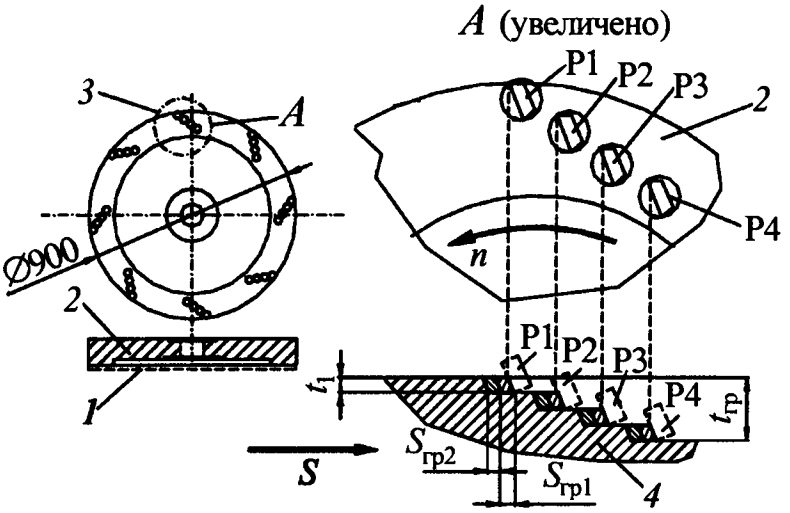


Рис. 2.170. Схема работы торцевой фрезы для обработки боковых поверхностей заготовок казенников: *1* – уровень расположения вершин резцов; *2* – корпус фрезы; *3* – группа резцов (Р1 – Р4); *4* – обрабатываемая деталь; $S_{гр1}$ – подача на резцы первой группы; $S_{гр2}$ – подача на резцы второй группы

После фрезерования плоскости заготовок имеют шероховатость Rz = = 80 мкм, а допуски – в пределах ± 1,5 мм.

До применения продольно-фрезерных станков с двумя фрезами диаметром 900 мм обработка боковых плоскостей казенников производилась на продольно-строгальных станках с очень низкой производительностью. Впервые такую схему фрезеровки применили на заводе в Мотовилихе. Это был технический прорыв. Производительность возросла в несколько раз.

Скорость фрезерования при n =30 об/мин составляет 100 м/мин.

Резцы оснащены неперетачиваемыми пластинками из твердого сплава Т15К6. При подаче на зуб S_z = 0,4 мм/зуб и восьми группах резцов подача на оборот фрезы равна 3,2 мм, а в минуту – порядка 100 мм/мин. Блок из четырех заготовок размером 600 мм составит длину 2400 мм, и времени на обработку блока такой длины потребуется (с учетом диаметра фрезы 900 мм) порядка 25 мин. За смену при таких режимах можно обработать до 20 заготовок казенников.

Для изготовления отверстия под клин крестовое отверстие в этом месте приближают к будущему профилю клинового отверстия путем растачивания двух каналов (рис. 2.171).

Таким образом, из отверстия под клин убирается максимально возможный объем металла, что облегчает последующее долбление этого отверстия по контуру.

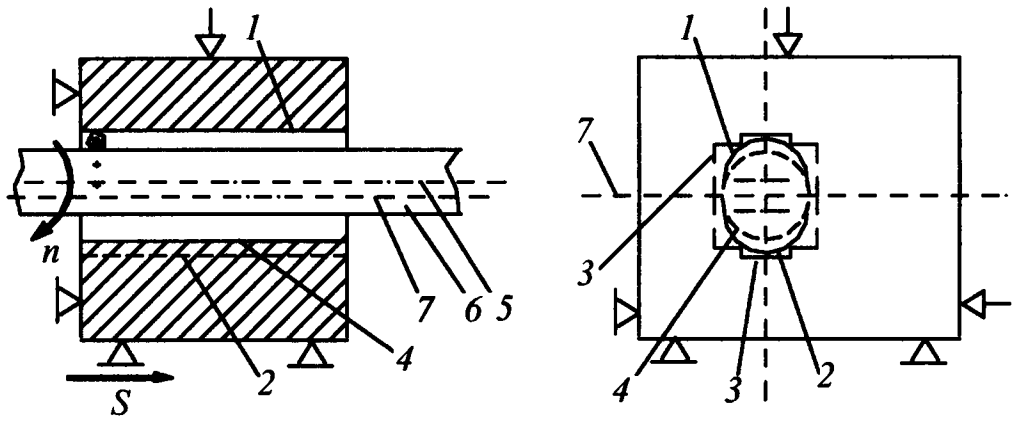


Рис. 2.171. Операция изготовления отверстия под клин путем растачивания двух цилиндрических каналов: *1* – поверхность первого расточенного канала; *2* – будущая поверхность второго расточенного канала; *3* – будущий контур клинового окна; *4* – исходное отверстие (часть крестового); *5* – ось расточной штанги; *6* – расточная штанга с резцом; *7* – ось исходного отверстия

Операция долбления клинового отверстия – предварительная. Схема этой операции приведена на рис. 2.172.

Головка *2* со штангой *1* соединены торцевой сухарной муфтой, которая позволяет при работе располагать резец в наиболее выгодном, с точки зрения обработки, положении. Это видно при обработке углов в отверстии (рис. 2.172, *б*).

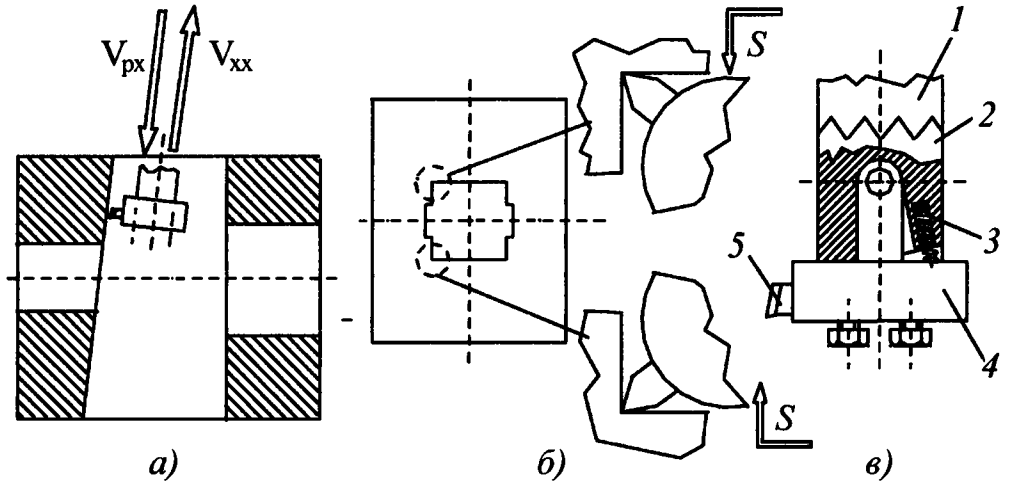


Рис. 3.172. Схема долбления отверстия под клин в казеннике:
а – долбление клиновой поверхности; *б* – долбление углов; *в* – схема долбежной головки; *1* – штанга ползуна долбежного станка; *2* – головка; *3* – пружина; *4* – резцедержатель; *5* – резец

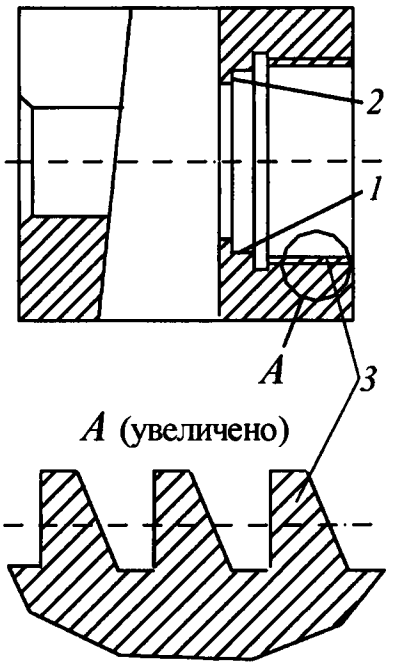


Рис. 2.173. Схема изготовления поверхностей:
1 – для центрирования бурта ствольной трубы в казеннике; *2* – торец; *3* – крепежной резьбы

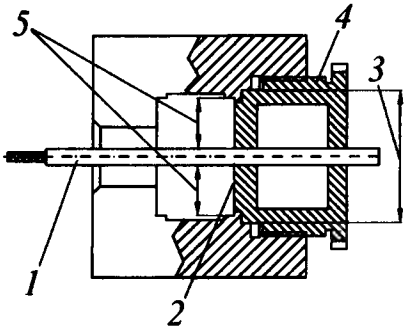


Рис. 2.174. Схема обеспечения симметричного расположения клинового окна относительно оси казенника: *1* – штанга; *2* – плоскость зеркала клина; *3* – посадочный диаметр пробки-калибра; *4* – пробка-калибр; *5* – расстояния от штанги до необходимого контура клинового окна

После окончания обработки одного угла оператор поворачивает головку резцедержателя в нужное положение для обработки второго угла. Резцедержатель предотвращает сильное трение задней поверхности резца при обратном ходе ползуна за счет своего поворота (пружина *3* при этом сжимается и при выходе резца из детали возвращает его в рабочее положение).

При необходимости обрабатывать клиновую плоскость оператор поворачивает ползун станка на необходимый угол (рис. 2.172, *а*).

Важной операцией при изготовлении казенника является получение посадочной поверхности под казенный бурт ствольной трубы и нарезание упорной резьбы для закрепления трубы в казеннике (рис. 2.173).

Операция проводится на токарном станке за один установ, что позволяет выдержать необходимую перпендикулярность посадочной поверхности *1* и торца *2*, а также соосность поверхности *1* и упорной крепежной резьбы. На некоторых заводах после нарезания резьбы резцом производится ее заполировка притиром.

После изготовления поверхностей *1* и *2* и упорной крепежной резьбы на них базируется калибр, при помощи которого изготавливается с незначительными припусками на окончательную обработку контур клинового окна с обеспечением симметричности этого окна оси казенника – рис. 2.174.

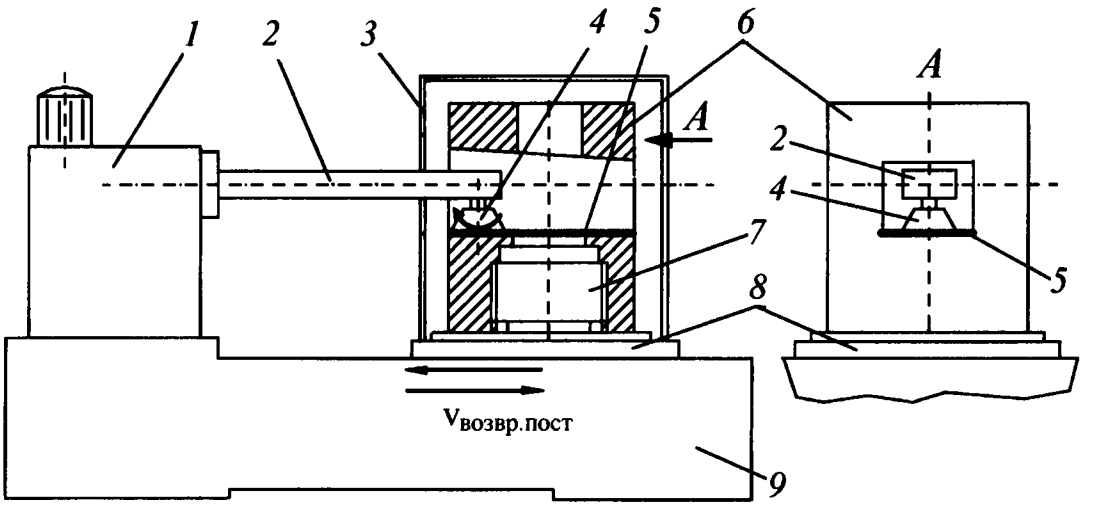


Рис. 2.175. Схема шлифования плоскости зеркала клина:
1 – шпиндельная бабка; *2* – штанга шлифовальной головки; *3* – кожух; *4* – шлифовальный круг; *5* – плоскость зеркала затвора; *6* – казенник; *7* – приспособление установочное; *8* – стол станка; *9* – станина станка

Кроме обеспечения симметричности расположения клинового окна за счет выдерживания размеров *5*, пробка-калибр используется здесь и как имитатор положения казенного торца ствольной трубы, т.е. положения зеркала клина при закрытом затворе своей плоскостью *2*.

При обработке в казеннике плоскости зеркала клина, долбление ведется, практически, до плоскости *2*. Относительно малый припуск у этой плоскости удаляется последующим шлифованием (рис. 2.175).

Как производится процесс шлифования понятно из схемы.

Боковые и клиновую поверхности клинового окна окончательно получают протягиванием (рис. 2.176).

Протяжная установка имеет приспособление *5*, установленное относительно оси станка с углом наклона, равным углу клина затвора. Это позволяет клиновую плоскость окна казенника установить вдоль оси станка. Расточенная под казенный бурт ствольной трубы поверхность базируется в приспособлении *5*.

В клиновое окно вдвигается по опоре *6* адаптер *3*, который от перемещения вперед ограничивается пластиной *4*. При первом протягивании работает пластина определенной толщины. При последующих протягиваниях пластина *4* меняется на более тонкую и адаптер, продвигаясь влево (по схеме), позволяет этой же протяжкой сделать второй проход.

Протяжной станок гидравлический с тяговым усилием 75...80 тонн.

Скорость протягивания – 0,8...1 м/мин, подача на зуб – 0,04 мм.

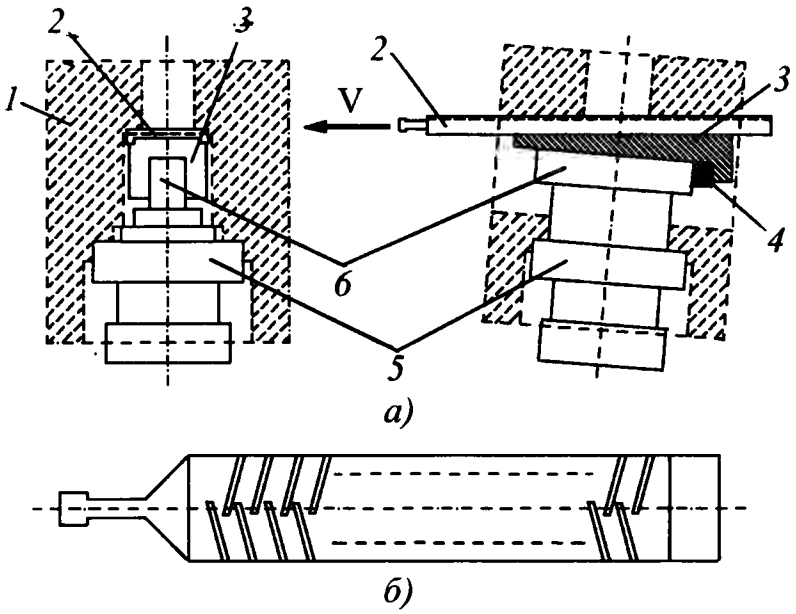


Рис. 2.176. Схема протягивания плоскостей клинового окна:
а – базирование заготовки казенника; *б* – схема протяжки; *1* – заготовка казенника; *2* – протяжка; *3* – адаптер; *4* – пластина подачи протяжки на глубину; *5* – установочное приспособление; *6* – опора адаптера

Протягивание плоскостей клинового окна, по сравнению с получением этих поверхностей долблением, дает возможность производить протягивание оператором более низкого разряда и снижает существенно трудоемкость этой операции.

Например, для системы М-46 обработка долблением составляла $T_{маш}$ = 219 мин, $T_{шт}$ = 270 мин, а протягивание этих же поверхностей дало соответственно 70 и 93 мин.

Казенники имеют на своей поверхности достаточно много выемок, сверлений. Они производятся обычными фрезами, сверлами и другими инструментами, за исключением казенников, в которых предусмотрено размещение цилиндров-противооткатов (у танковых пушек). Эти каналы делаются инструментами для получения глубоких отверстий.

2.16. Клин

Клин также является командной деталью, и к механическим свойствам его в полной мере относятся уже приводимые требования к стволам и казенникам.

Материал клиньев – стали типа ОХН3МФА-Ш с термообработкой до получения категорий прочности О-800, О-850.

Слиток, полученный электрошлаковым переплавом, проковывается на радиально-ковочной машине в прямоугольный брус, из которого отрезаются куски, рассчитанные на четыре–пять заготовок клиньев.

Термообработка клиньев производится не поштучно, а брусом рассчитанным на несколько заготовок клиньев (рис. 2.177).

На рис. 2.177, *а* брус рассчитан на пять заготовок клиньев 122 мм полевой пушки.

Термообработка проходит в тех же шахтных печах и баках, что и стволы. Для подачи в печь в брусе сверлится отверстие, которым брус надевается на подвеску (рис. 2.177, *б*).

После термообработки от одного торца бруса отрезается брос и пластины для изготовления образцов и проведения механических испытаний (рис. 2.177, *в*).

Разрезание бруса на отдельные заготовки и отрезание пластин производится дисковыми пилами.

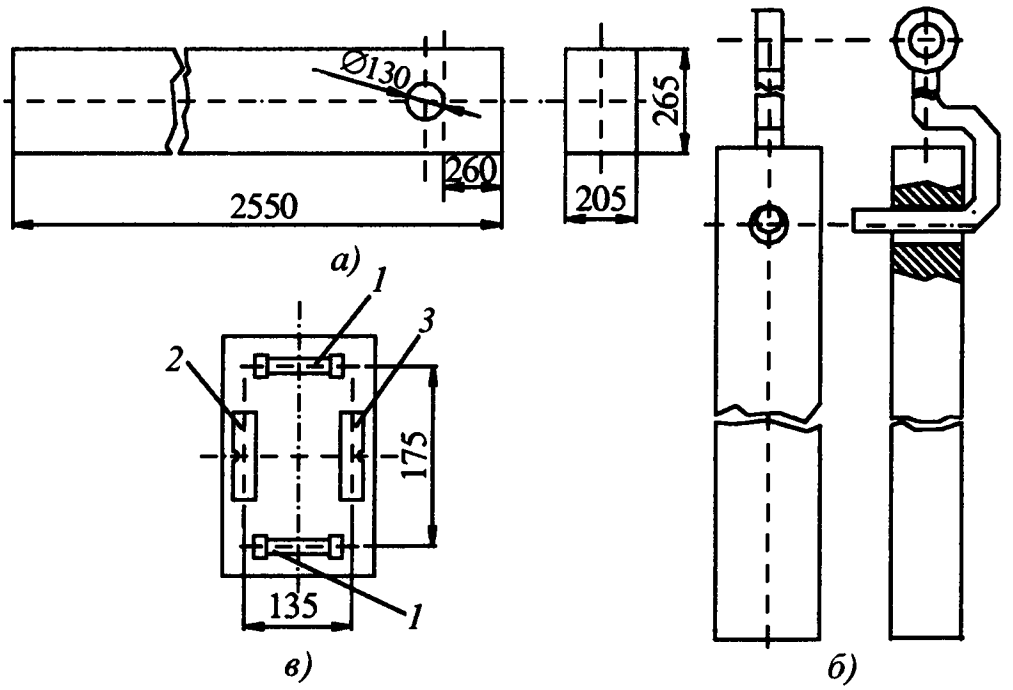


Рис. 2.177. Заготовка для изготовления клиньев: *а* – брус для термообработки; *б* – схема подвески бруса для подачи в печь; *в* – пластина для изготовления образцов; *1–3* – стандартные образцы для испытания механических свойств

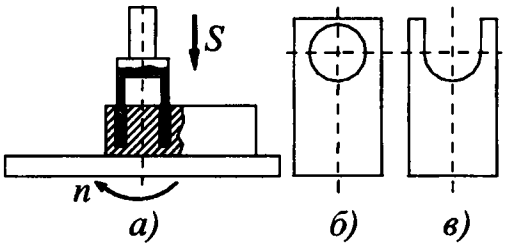


Рис. 2.178. Получение лоткового отверстия в заготовке клина:
а – схема кольцевого сверления на токарно-карусельном станке;
б – заготовка после сверления;
в – заготовка после фрезерования лотковой части

Боковые поверхности заготовок фрезеруются торцевыми фрезами с той же схемой работы, что и для фрезерования боковых поверхностей казенника, только несколько меньшего диаметра.

Несколько специфической операцией при изготовлении клиньев является операция сверления лоткового отверстия (рис. 2.178). Операция проводится на токарно-карусельном станке кольцевым сверлом.

Остальные операции по сверлению и фрезерованию необходимых каналов под рычаги, штоки и ударник не являются особо сложными для технологии обычного машиностроения.

2.17. Люлька

Артиллерийские системы имеют круглые люльки (чаще) и корытообразные (рис. 2.179).

Наиболее ответственными поверхностями люлек являются цапфы и направляющие ствола.

К литой люльке после обработки в отливке поверхностей *4* и *5* привариваются предварительно точно изготовленные цапфы.

В качестве направляющих в таких люльках применяются приклепанные бронзовые вкладыши *1* и *3*. Эти вкладыши механически обрабатываются на посадочные размеры цилиндрических поверхностей ствольной трубы.

Сварные круглые люльки гораздо легче литых, поэтому они применяются в полевых системах средних калибров, в то время как чисто литые чаще всего применяются в танковых пушках.

Изготавливать сварные круглые люльки достаточно просто: из наиболее крупных деталей они содержат три: переднюю и цапфенную литые обоймы *11* и *13* и свальцованную из листа обечайку *12*. Три эти главные детали свариваются на манипуляторе (рис. 2.180). После сваривания швы проверяются на рентгеновском дефектоскопе.

Круглые люльки более технологичны, чем корытообразные. У систем средних калибров корытообразные люльки требуют значительного количества действий: штамповка из листа корыта с одновременным закалива-

нием его в штампе, приваривание к корыту заготовок полозков, штамповка передней и отливка цапфенной обойм и их приваривание к корыту, механическая обработка полозков и цапф.

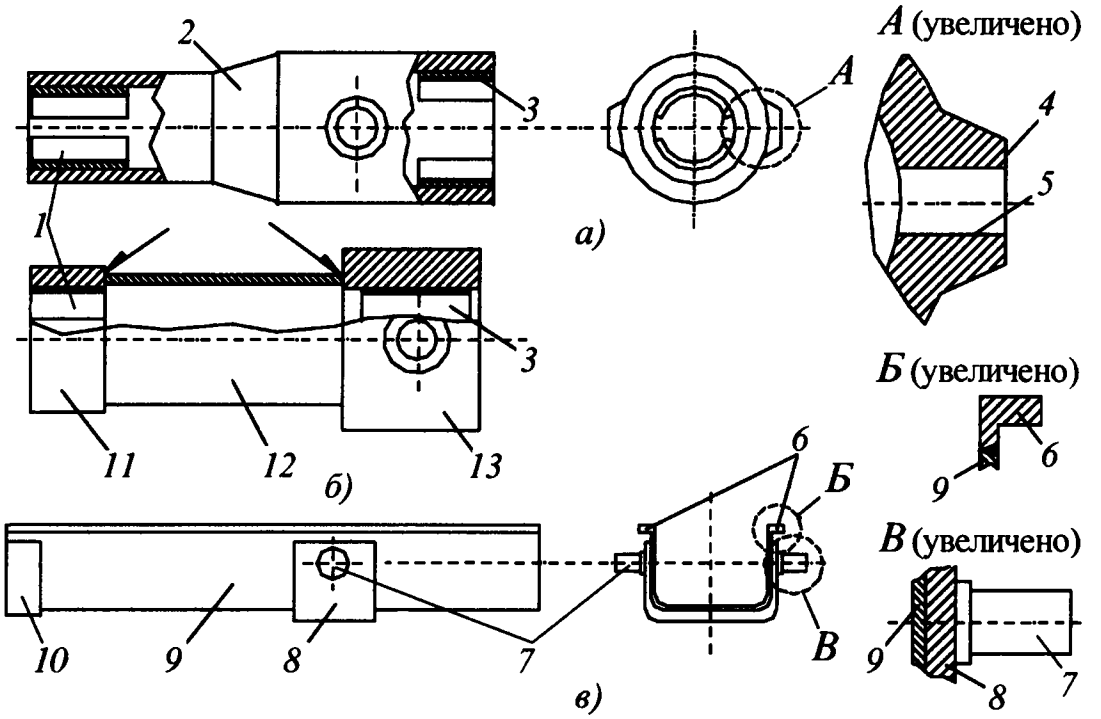


Рис. 2.179. Типы применяемых люлек: *а* – литая круглая; *б* – круглая сварная; *в* – корытообразная; *1* – передняя направляющая ствола; *2* – люлька; *3* – задняя направляющая ствола; *4*, *5* – поверхности установки цапфы; *6* – полозки; *7* – цапфы; *8, 13* – цапфенные обоймы; *9* – корыто; *10* – передняя штампованная обойма; *11* – литая передняя обойма; *12* – листовая обечайка

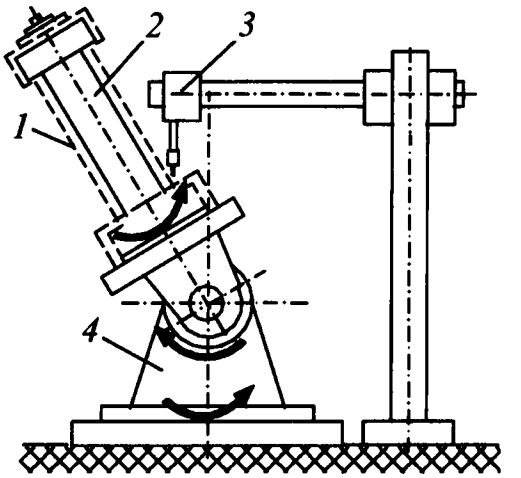


Рис. 2.180. Схема сваривания круглой люльки на манипуляторе: *1* – люлька; *2* – оправка; *3* – сварочный агрегат; *4* – манипулятор

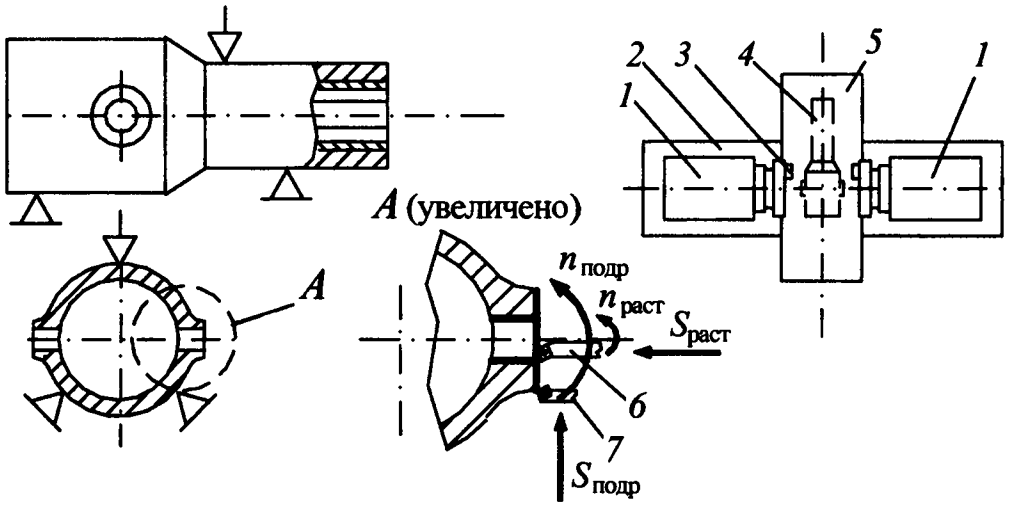


Рис. 2.181. Схема обработки цапфенных гнезд на цапфенном станке:
1 – шпиндельные бабки; *2* – станина; *3* – резцедержатель; *4* – люлька; *5* – стол станка; *6* – расточной резец; *7* – подрезной резец

Механическая обработка цапфенных гнезд круглых люлек заключается в подрезании торцов бобышек и растачивании посадочного отверстия под цапфу (рис. 2.181).

После растачивания цапфенных гнезд на круглых литых люльках производится развертывание бронзовых опор ствольной трубы.

Развертки представляют собой жесткие диски с набором ножей, заточенных на размер посадочного места опор (рис. 2.182).

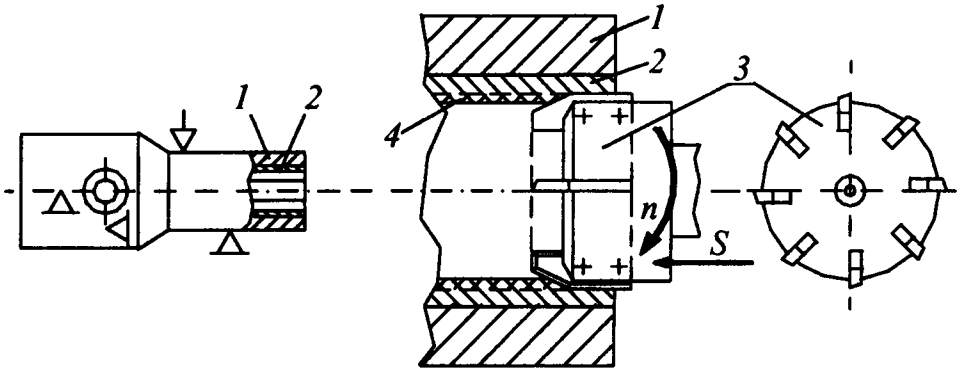


Рис. 2.182. Схема развертывания в литой люльке посадочных опор под ствольную трубу:
1 – люлька; *2* – бронзовая опора ствольной трубы; *3* – развертка; *4* – снимаемый припуск

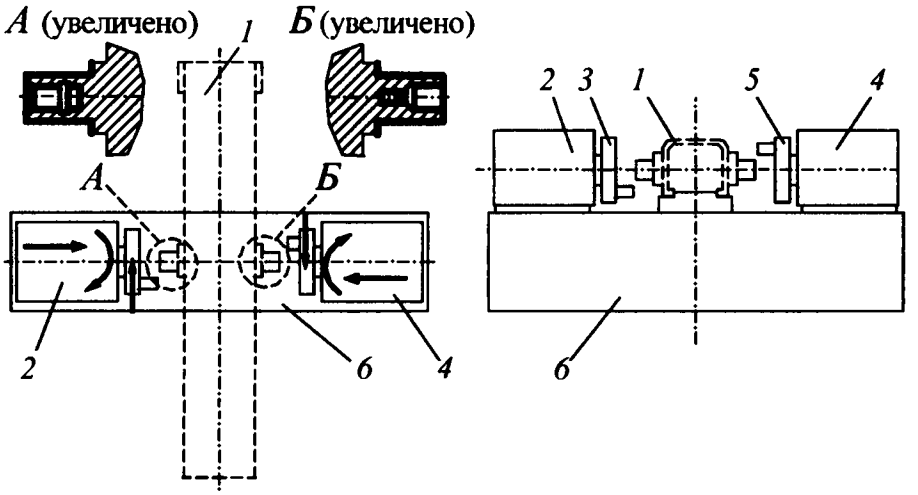


Рис. 2.183. Схема обработки цапф корытообразной люльки: *1* – люлька; *2*, *4* – правая и левая шпиндельные бабки; *3*, *5* – планшайбы с летучими суппортами и держателями инструментов; *6* – станина

Ответственной операцией по изготовлению корытообразной люльки является полная обработка цапф. Обработка цапф проводится после фрезерования или строгания полозков. Люлька базируется на обработанные полозки и закрепляется на станке (рис. 2.183), однотипном со станком для растачивания цапфенных гнезд круглых люлек, но с более расширенным набором инструментов.

На этом рисунке видно, что цапфы по внутренним поверхностям обрабатываются по-разному. Эти внутренние поверхности служат для крепления в них деталей прицельных устройств.

2.18. Противооткатные устройства

Противооткатные устройства характерны использованием относительно тонкостенных цилиндров, штоков и контрштоков.

Все эти детали, несмотря на значительные нагрузки, которые они испытывают, считаются некомандными. Основной категорией прочности считается предел текучести $\sigma_{0,2}$.

2.18.1. Цилиндры

Для относительно мощных (например, танковых) пушек цилиндры изготавливаются из высоколегированных сталей типа ОХН3М с категорией прочности КТ110 и гр. IV. Для менее мощных систем категории прочности могут быть ниже: КТ50 … КТ75.

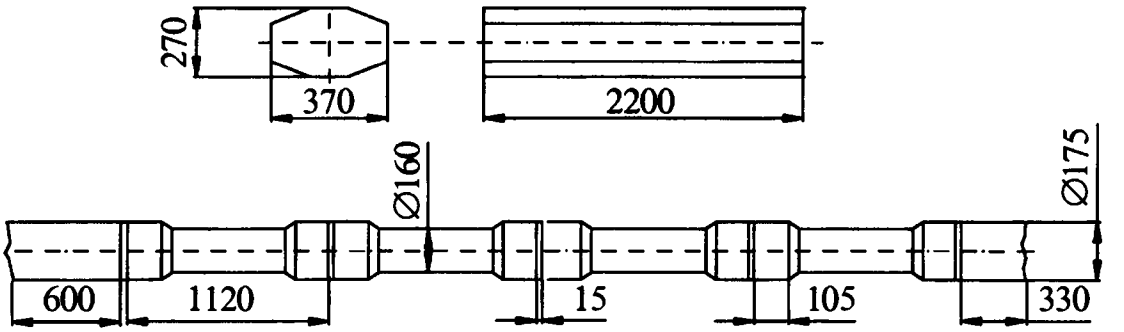


Рис. 2.184. Слиток и откованная на РКМ заготовка

В качестве заготовок используются поковки, полученные на радиально-ковочных машинах. Пример таких заготовок для цилиндров танковой пушки дан на рис. 2.184.

Сверление и растачивание внутренних поверхностей цилиндров производится по тем же схемам, что и обработка каналов стволов. Хонингование из-за относительно небольшой длины цилиндров ведется на вертикально-хонинговальных станках без вращения детали.

Специфической операцией при изготовлении цилиндров является строгание канавок переменной глубины на внутренней поверхности канала.

Строгание канавок ведется на специальных станках головками, имеющими тот же принцип работы, что и нарезательные головки для стволов. Схема работы такого станка дана на рис. 2.185.

При движении суппорта на рабочем ходу (РХ) ролик *12* рычага шестерни *6* движется по пазу копира *4* и шестерня при своем вращении перемещает внутреннюю штангу, и за счет клиновых Т-образных пазов выдвигает резцы на размер в зависимости от профиля копира. Резцов, как правило, два или четыре. Расположены они оппозитно для удобства замера изготовленных канавок. При перемещении суппорта в крайнее переднее положение ролик проходит через стрелку *5*, которая под действием пружины (на схеме не показана) всегда стремится занять положение А. После прохода стрелки (в положении Б) она закрывается, и при обратном ходе (ОХ) суппорта ролик идет по горизонтальному пазу, убрав внутрь головки резцы. В конце ОХ ролик переводит стрелку *3* в положении Б, и она пружиной возвращается в положение А и при рабочем ходе суппорта направляет ролик снова по пазу профиля канавки. Подача резцов *13* на глубину производится перемещением ($S_{\text{коп}}$) копира *4*.

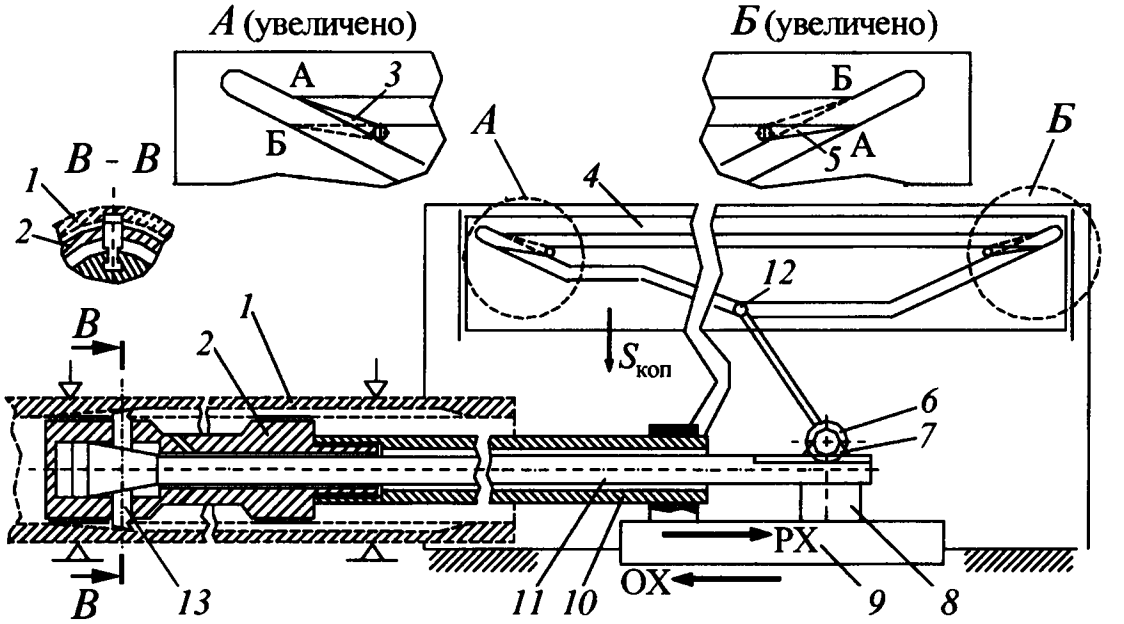


Рис. 2.185. Схема работы станка для строгания канавок переменной глубины в цилиндрах противооткатов:

1 – обрабатываемый цилиндр; *2* – строгальная головка; *3*, *5* – стрелка; *4* – копир; *6* – шестерня; *7* – кронштейн крепления шестерни на суппорте; *8* – опора внутренней штанги; *9* – суппорт; *10* – наружная (силовая) штанга; *11* – внутренняя штанга (выдвижения резцов; *12* – ролик; *13* – резцы

Безусловно, в настоящее время вместо механических копирных устройств целесообразно все движения инструмента производить при помощи приводов числового программного управления.

Допускается изготовление канавок с отклонением по глубине +(0,4...0,5) мм и с шероховатостью Ra = 2,5...5 мкм.

2.18.2. Штоки и контрштоки

Для изготовления штоков и контрштоков в зависимости от мощности системы применяются стали 50, 40Х, ОХМ, ОХН3М. Категории прочности деталей до КТ75.

Особенностью изготовления штоков является наличие канавок переменной глубины для торможения наката. Эти канавки изготавливаются аналогично рассмотренным выше. Шток имеет на поршне бронзовую рубашку, которая перед наружной обработкой сажается на поршень по резьбе и на припое.

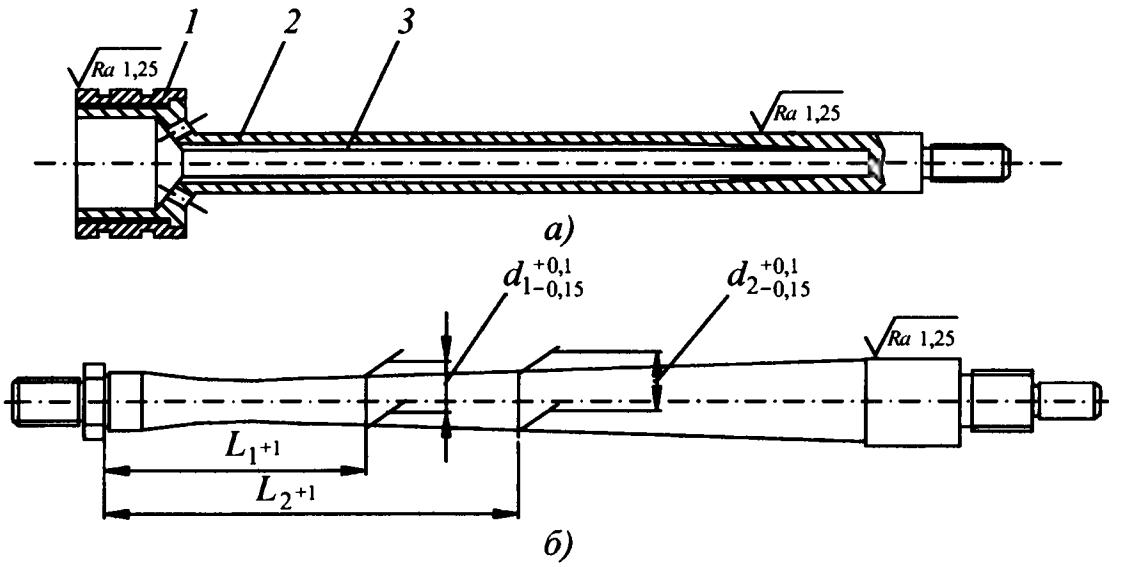


Рис. 2.186. Типовые формы штока и контрштока тормозов отката:
а – шток тормоза отката; *б* – контршток; *1* – бронзовая рубашка; *2* – шток; *3* – канавка тормоза наката

Контршток имеет рабочую поверхность в виде довольно сложной фигуры (типа веретена). Обработка этой поверхности с применением гидрокопировальных станков или станков с программным управлением. Примерные конфигурации штока и контрштока и некоторые точностные требования даны на рис. 2.186.

Достаточно часто в заготовке бронзовой рубашки поршня тормоза делают предварительную внутреннюю резьбу под резьбу на головке штока. Резьбы на этих поверхностях лудятся горячим способом и в горячем же виде свинчиваются. После остывания рубашка обтачивается с необходимыми требованиями по геометрии и точности.

Глава 3

СБОРКА И ИСПЫТАНИЯ ИЗДЕЛИЙ

Основные положения процессов сборки изделий изложены в главе 1. Здесь будут рассмотрены некоторые специфические моменты сборки, выверки и испытаний изделий среднего и крупного калибров.

Сборка артиллерийских систем среднего и крупного калибра на всех заводах организовывается как параллельная, так как эти сборочные единицы (готовые к общей сборке узлы) изготавливаются в различных цехах и имеют в этих цехах свои сборочные участки. Участки оснащены в большинстве случаев испытательными стендами и приспособлениями, и в цех общей сборки подаются уже готовыми к штатной работе. Такими узлами в качестве примера можно назвать противооткатные устройства, механизмы наведения, люльки, затворы.

В цехе же общей сборки эти узлы собираются по принципу последовательной сборки (рис. 3.1).

На рис. 3.2 дана примерная планировка сборочного цеха.

Безусловно, показанная планировка сборочного цеха не является абсолютной и на каждом заводе расположение этих участков будет своим.

В сборочном цехе производятся несколько операций, которые целесообразно разобрать подробнее.

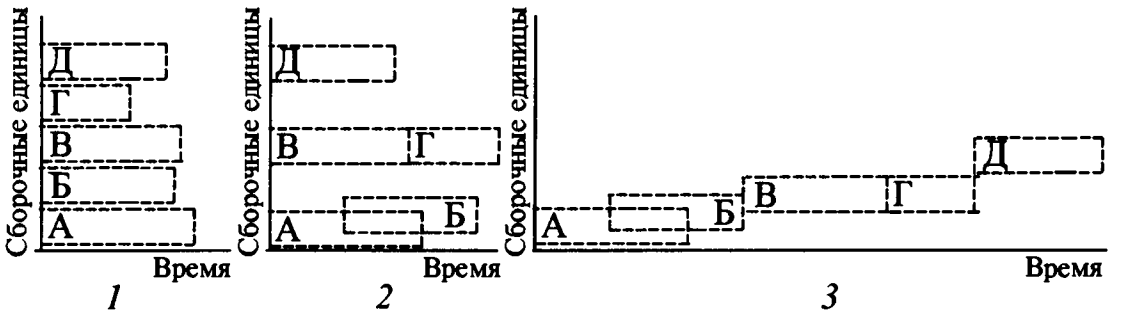


Рис. 3.1. Схемы сборки артсистем среднего и крупного калибра:
1 – параллельная поузловая; *2* – параллельно-последовательная;
3 – последовательная; А, Б, В, Г, Д – сборочные единицы (узлы)

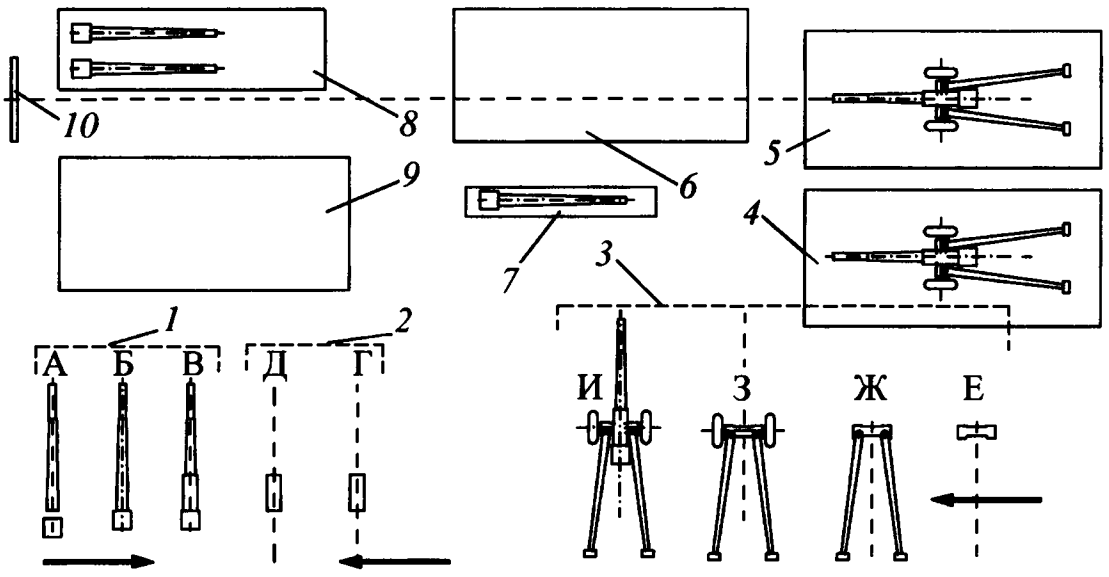


Рис. 3.2. Примерная планировка сборочного цеха:
1 – участок сборки ствольных труб; *2* – участок сборки люлек; *3* – участок сборки станин, хода и всего орудия; *4* – стенд искусственного отката; *5* – участок выверки прицельных приспособлений; *6* – участок частичной разборки изделий после испытаний; *7* – участок контроля канала ствольных труб; *8* – участок банения каналов труб; *9* – участок покраски изделий; *10* – щит для проверки прицельных приспособлений; сборка: А – трубы и казенника; Б – затвора; В – трубы с люлькой; Г, Д – люльки с противооткатами; Е – боевой оси и подрессоривания; Ж – станин; З – ходовой части; И – всего орудия

После сборки ствольной трубы и казенника производится доработка контрольной площадки на казеннике (рис. 3.3).

Для доработки контрольной площадки казенника ствол в сборе ставится на домкраты *6*, на дульную часть трубы подвешивается груз *7*, равный по весу дульному тормозу, а в канал вставляется калибр-линеал (конструкция которого дана на рис. 2.147).

На столик калибра устанавливается артиллерийский квадрант и домкратами *6* его уровень выводится на «0». Затем квадрант переносится на контрольную площадку казенника *5*, и она дорабатывается. При необходимости большой припуск снимается сначала ручной шлифмашинкой, а затем пришабривается на краску.

При малом припуске производится только шабрение. Если уровень квадранта на казеннике вышел на «0», то операция считается законченной, и ось ствольной трубы будет параллельна контрольной площадке казенника, что в дальнейшем будет использоваться при выверке прицельных приспособлений.

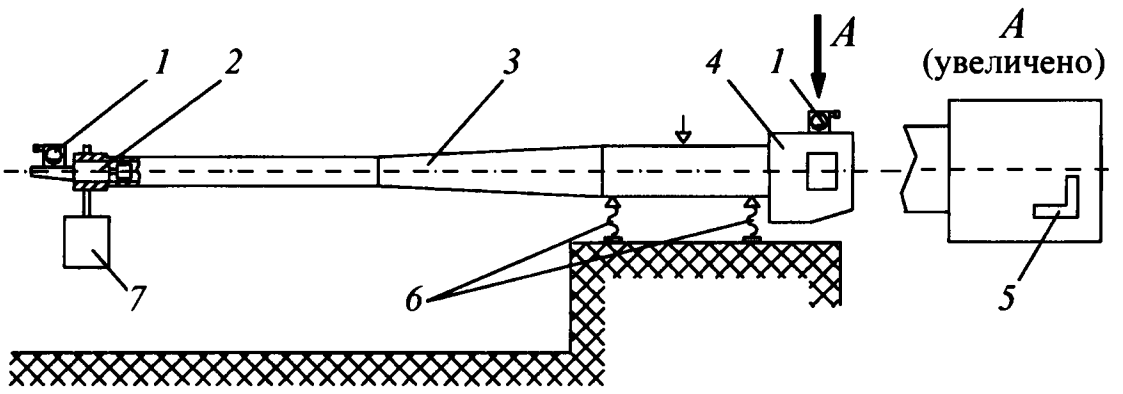


Рис. 3.3. Схема выполнения операции доработки контрольной площадки на казеннике:

1 – артиллерийский квадрант; *2* – калибр-линеал; *3* – ствольная труба; *4* – казенник; *5* – контрольная площадка казенника; *6* – регулируемые домкраты; *7* – груз

После сборки орудия производится проверка действия противооткатных устройств на стенде искусственного отката – рис. 3.4.

Работа стенда как видно из схемы внешне проста: ствол сначала оттягивается лебедкой *6* на максимальную длину отката, и по сцепному устройству замка наносится удар, после чего замок отпускает рым-болт казенника и ствол накатником должен придти в переднее положение. При проверке работы накатника на максимальных углах возвышения ствола, трос из положения *4* переводится в положение *9* и ствол оттягивается лебедкой через блок *8* на необходимую длину. Далее опять произво-

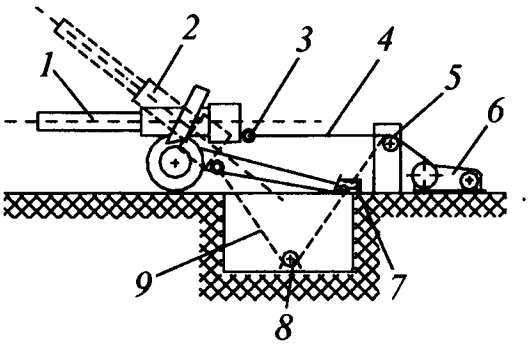


Рис. 3.4. Схема работы стенда искусственного отката:

1 – ствол в горизонтальном положении; *2* – ствол на максимальном угле возвышения; *3* – замок; *4, 9* – трос; *5* – блок; *6* – лебедка; *7* – упор для сошников; *8* – блок

дится удар по сцепному устройству и ствол должен накатиться в переднее положение с этим углом возвышения.

Для определения невозвратной (невозвратимой) качки ствола операция производится по схеме рис. 3.5.

Орудие помещают в раме *1*. На дульную часть ствола крепится хомут *2*, и к нему через блоки подвешивают грузы *4*, *5*, *6*, *7*. Благодаря поочередному нагружению ствола в вертикальной плоскости грузами и замером показаний угломера панорамы (для нагружения в горизонтальной плоскости) или показаний продольного уровня прицела (в вертикальной плоскости), определяются люфты в механизмах наведения, в цапфах люльки, в главном зацеплении.

Отсчеты производятся при приложении нагрузки и при снятии ее в каждом направлении. Обычно допуск на невозвратную (невозвратимую) качку задается 00-02 деления угломера.

Установку и выверку в сборочном цехе прицельных приспособлений проводят по схеме рис. 3.6, *а*.

Выставленное по горизонту (отгоризонтированное) изделие (обычно на приподнятой над полом цеха площадке) наводится на щит, расположенный на расстоянии 40...50 м от дульного среза. Щит имеет четкие рисунки крестов с координатами, которые соответствуют расположению оси ствола и оптическим осям приборов наведения.

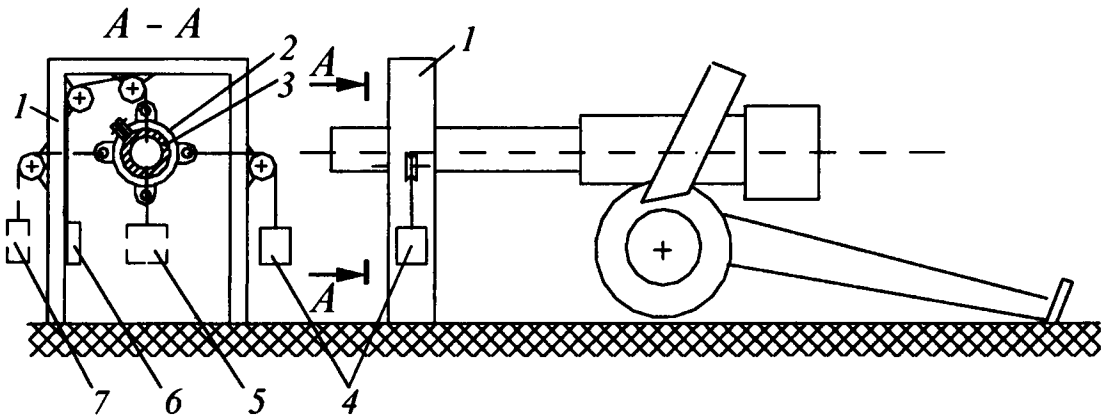


Рис. 3.5. Схема замера невозвратной (невозвратимой) качки ствола:
1 – рама; *2* – хомут; *3* – ствол; *4*, *5*, *6*, *7* – грузы

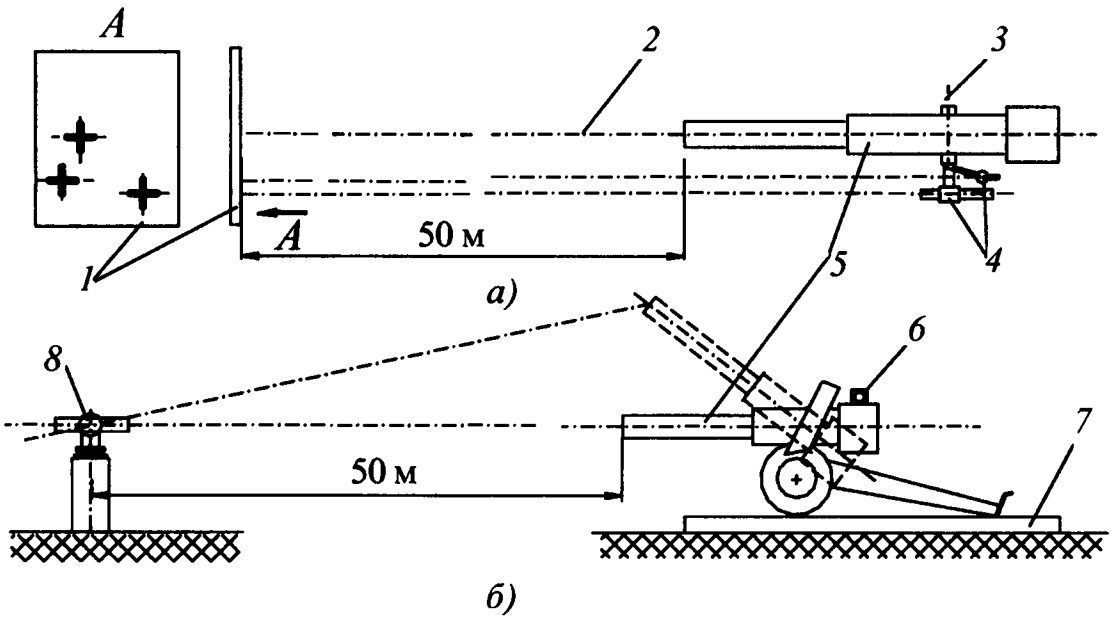


Рис. 3.6. Установка и выверка прицельных приспособлений:
а – схема выверки прицельных приспособлений; *б* – схема проверки отклонения оси канала ствола от вертикальной плоскости; *1* – щит с перекрестиями; *2* – линия оси канала ствола; *3* – ось цапф; *4* – прицельные приспособления (панорама и прицел прямой наводки); *5* – ствол орудия; *6* – квадрант; *7* – «отгоризонтированная» площадка; *8* – теодолит

Наведение оси ствола на соответствующий крест производится благодаря перекрестиям из ниток, наклеенным на дульный срез по вертикальным и горизонтальным рискам (центр канала на дульном срезе) и по отверстию под боек в клине при вынутом стреляющем устройстве (центр канала на казенном срезе).

В зависимости от совпадения или несовпадения осей приборов наведения с центрами крестов щита производится регулировка посадочных мест приборов или подналадка уровня на панораме.

Еще одной проверкой положения оси ствола является замер отклонения центра канала в дульном срезе от вертикальной плоскости в процессе придания стволу полного угла возвышения (рис. 3.6, *б*).

На расстоянии не менее 50 м от дульного среза устанавливается теодолит, который может при подъеме ствола определить отклонение центра канала в дульном срезе (по наклеенным нитям) от вертикальной плоскости. Максимально допустимая величина отклонения обычно бывает 00-02 в делениях угломера, что соответствует 7,2′.

Операции по контролю канала ствола проводятся в сборочном цехе после проведения любых испытаний: ПСИ или ПИ.

Ствол снимается с изделия, тщательно моется по наружной поверхности и по поверхности канала. Чистка канала, так называемое «банение», производится на участке *8* (см. рис. 3.2) на банильном станке, который представляет собой станину с кареткой и приводом каретки. На каретке крепится штанга банника, и он может двигаться возвратно-поступательно в канале ствола, закрепленного или на станине, или на ложементах. Во время работы банника в канал подается чистящая жидкость, так называемый *раствор для чистки стволов* (РЧС). Это водный раствор хромового ангидрида, аммиака, серно-кислого аммония, едкого натра или технического каустика.

После чистки несколько раз производится тугая протирка пыжом, обернутым салфеткой. По чистоте салфетки после прохода ее по каналу судят о качестве банения.

Из сказанного видно, что участок чистки каналов стволов довольно протяженный (длина его более двойной длины ствола).

Работы по модернизации процесса банения проводились на многих заводах.

В качестве примера успешно работающего банильного устройства можно предложить самодвижущуюся в канале конструкцию банильного агрегата, разработанного в МГТУ им. Баумана.

Схема этого агрегата приведена на рис. 3.7.

Работа агрегата происходит в последовательности:

– заходная труба *9* с агрегатом внутри пристыковывается к ствольной трубе;

– агрегату подается питание в виде жидкости под давлением;

– начинает работать привод *3* и банник *2* совершает осевые колебания;

– подается давление в полость разжимного башмака *4* и он за счет сил трения о стенки канала трубы становится неподвижным;

– подается жидкость под давлением в правую полость корпуса *5*, при этом весь агрегат движется вдоль оси трубы влево, совершая рабочий ход (р.х) ;

– подается жидкость в левую полость корпуса *7* и он перемещается влево до упора, осуществляется холостой ход (х.х) корпуса;

– при исчерпании величины рабочего хода у корпуса *5* жидкость подается в полость разжимного башмака *6*, и он становится неподвижным относительно стенки канала;

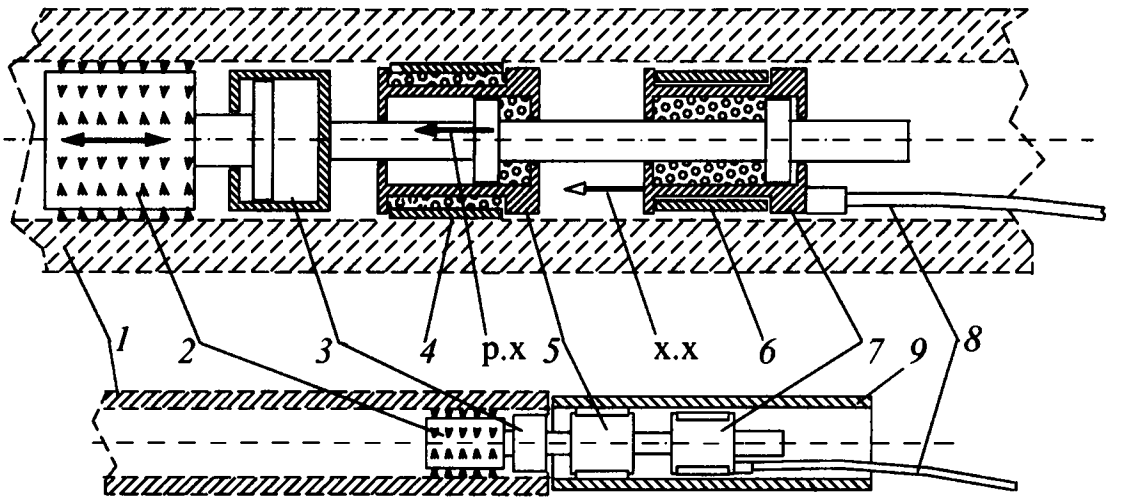


Рис. 3.7. Схема самодвижущегося агрегата для чистки канала ствола конструкции МГТУ им. Баумана:

1 – ствольная труба; *2* – банник; *3* – привод осевых колебательных движений банника; *4* – разжимной башмак; *5* – корпус переднего привода осевого перемещения банника; *6* – разжимной башмак; *7* – корпус заднего привода осевого перемещения банника; *8* – шланги подвода гидропитания агрегата; *9* – заходная труба

– одновременно с этим сбрасывается давление из полости разжимного башмака *4* и подается давление в левую полость корпуса *5*, и он производит холостой ход влево;

– в это же время поданная в правую полость неподвижного корпуса *7* жидкость перемещает весь агрегат влево с рабочим ходом;

– при исчерпании величины рабочего хода корпуса *7*, корпус *5* возобновляет работу по приведенному циклу.

Вышесказанное повторяется до тех пор, пока все время осциллирующий банник не достигнет другого конца очищаемой ствольной трубы и агрегат не переключится на обратный ход.

Этот банник успешно работал при чистке ствольной трубы диаметром 220 мм испытательного стенда.

После проведенных испытаний изделия снова поступают в сборочный цех, моются, частично разбираются (в частности, снимается ствол, который банится).

Вновь собранное изделие окончательно красится и после сдачи представителю заказчика зачехляется и пломбируется.

Испытания собранных изделий подразделяются на *приемосдаточные* (ПСИ) и *периодические* (ПИ), как и изделия малых калибров. Но испытания изделий средних и крупных калибров существенно отличаются от разобранных в главе 1.

После сборки и проведения всех цеховых проверок каждое изделие проходит приемосдаточные испытания, которые кроме проверки стрельбой проверяются и возкой, чаще всего за штатным средством тяги. Испытания возкой при проведении ПСИ обычно совмещаются с транспортировкой изделия на полигон. При транспортировке проверяются правильность работы тормозов (при полном торможении колеса не должны проворачиваться), нагрев ступиц колес, крепление изделия к тяговому крюку, работа механизмов включения и выключения подрессоривания, функционирование световых сигнальных устройств.

Транспортировка на полигон для проведения ПСИ обычно проводится на технологических колесах.

Программа огневых испытаний у полевых и танковых пушек несколько разнится: у танковых число выстрелов меньше.

Испытания стрельбой проходят на войсковых или заводских полигонах. Примерное оснащение полигона для проведения ПСИ дано на схеме рис. 3.8.

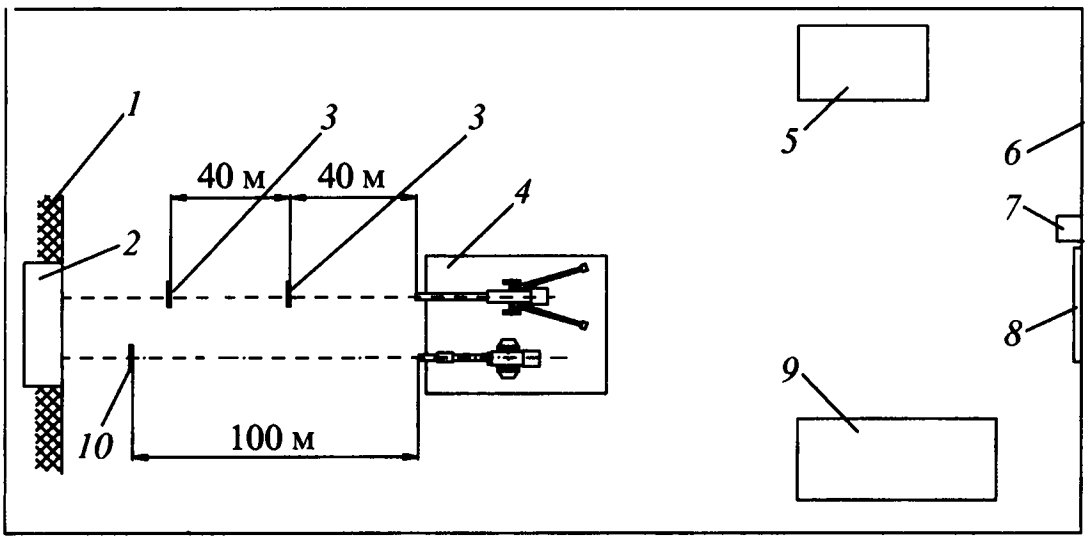


Рис. 3.8. Примерная планировка оборудования полигона для проведения ПСИ: *1* – земляной вал; *2* – снарядоуловитель; *3, 10* – рамы-мишени; *4* – боевая позиция; *5* – лаборатория снаряжения зарядов; *6* – ограда; *7* – сторожевая проходная; *8* – въездные ворота; *9* – метрологическая лаборатория

Изделие после прибытия на полигон устанавливается на боевую позицию при помощи козлового крана (на схеме не показан). Полевые пушки ставятся на бетон с упором зимних сошников в готовые упоры, а танковые или самоходные – в стенд с цапфенными гнездами.

Перед стрельбой у полевых пушек проверяются:

– канал ствола на предмет отсутствия смазки;
– работа затвора;
– положение движка указателя отката;
– давление в накатнике;
– количество жидкости в тормозе отката;
– давление в уравновешивающем механизме;
– работа подъемного и поворотного механизмов;
– нулевая установка прицельных приспособлений;
– механизм включения и выключения подрессоривания;
– фиксация станин.

У танковых и самоходных пушек производятся те же проверки, за исключением последних двух пунктов.

Меры безопасности в лаборатории снаряжения зарядов.

При входе в лабораторию вахтеру, в обязательном порядке, сдаются спички, зажигалки, папиросы.

Вход в лабораторию разрешается в обуви без металлических гвоздей на подошвах; стены, пол, потолок помещения покрыты материалом, не допускающим возникновения на них зарядов статического электричества.

На боевую позицию выстрелы привозятся в специальной повозке в пеналах-термосах и извлекаются из этих термосов непосредственно перед заряжанием.

В метрологической лаборатории установлена аппаратура, замеряющая начальную скорость снаряда, давление в канале.

Лаборатория связана проводами с рамами-мишенями.

В **лаборатории снаряжения зарядов** проводится коррекция количества пороха для уменьшенных или увеличенных зарядов, заряды выдерживаются в термостатах при температуре +15°...+20 °С для получения единообразных результатов испытаний.

Уменьшенные и увеличенные заряды получают соответствующим изменением массы заряда. Для получения усиленных зарядов за счет нагрева, их выдерживают в термостатах при температуре +40°С.

Рамы-мишени старого образца с натянутой проволочной мишурой позволяли определять только скорость снаряда. Рамы-мишени, регистрирующие пролет снаряда оптическим, индуктивным или акустическим способами, являются более удобными и позволяют наряду с моментом пролета снаряда через раму определять центр снаряда, а значит, при нескольких выстрелах, вычислять среднюю точку попадания без участия оператора.

Принципиальное устройство рамы-мишени с оптическими регистраторами дано на рис. 3.9.

В корпусе рамы *7* расположены на противоположных сторонах светоизлучатели *4* и светоприемники *5* с шагом в половину калибра снаряда. Таким образом, площадь рамы становится координатной сеткой, что позволяет определить единственное положение пролета центра снаряда в площади мишени.

Соответствующие координаты пролета снаряда поступают в счетное устройство, и вычисляется средняя точка попадания (СТП).

Ранее определение СТП у танковых или самоходных пушек производилось по картонному щиту *1* с измерением положения центра пробоин (рис. 3.10).

Перед стрельбой на дульный срез ствола *3* надевался хомут *2* с нитями *5*, определяющими центр канала ствола. Вместо хомута могли быть нити наклеены непосредственно на дульный торец по взаимно перпендикулярным рискам. В канал стреляющего механизма вставлялась оптическая трубка *4*, и при ее помощи ствол наводился по перекрестию нитей на крест щита.

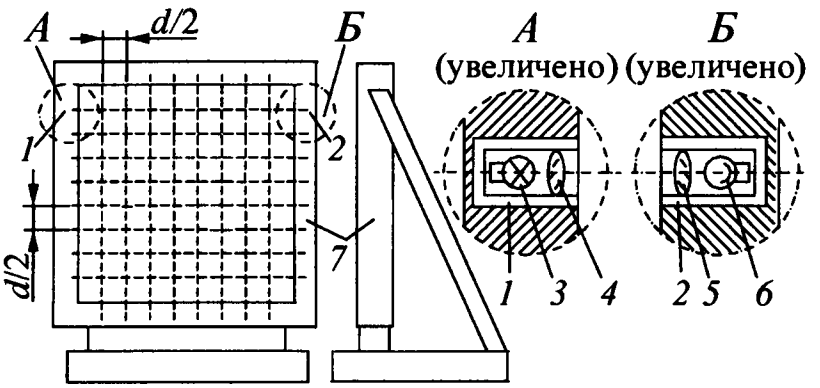


Рис. 3.9. Принципиальная схема рамы-мишени с оптическими регистрирующими элементами:

1 – размещение светоизлучателя; *2* – размещение светоприемника; *3* – источник света; *4* – оптическая система излучателя; *5* – оптическая система приемника; *6* – светоприемник; *7* – корпус рамы

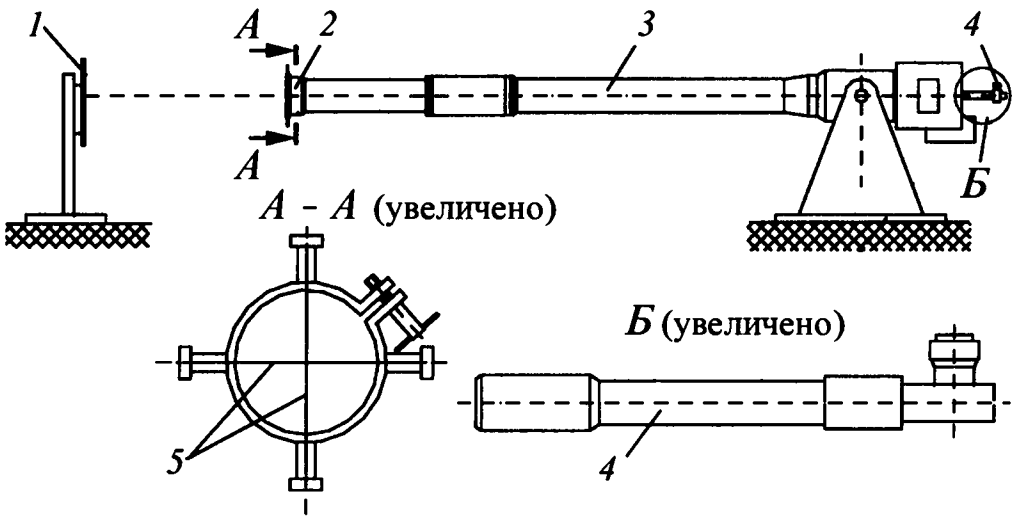


Рис. 3.10. Схема подготовки орудия для стрельбы по картонному щиту:
1 – картонный щит; *2* – хомут; *3* – ствол; *4* – оптическая трубка; *5* – нити

На рис. 3.11 показана примерная методика определения средней точки попадания при стрельбе оперенными снарядами из 115 мм танковой гладкоствольной пушки.

Щит для определения СТП находится на удалении 100 м от дульного среза. После испытаний щит снимается с рамы и крестообразной линейкой на нем определяются координаты центров пробоин. По их среднему арифметическому значению вычисляется средняя точка попадания.

Каждое изделие в ТУ имеет программу огневых испытаний.

Примерные программы таких испытаний приведены в табл. 3.1 и 3.2.

3.1. Заряды и положения ствола при стрельбе (для полевых пушек)

Номер выстрела	Заряд	Положение ствола относительно станин	Угол возвышения ствола
1	Уменьшенный	Среднее	0°
2	Нормальный	Среднее	0°
3	Нормальный	Среднее	0°
4	Усиленный	Среднее	70°
5	Усиленный	Вдоль правой	70°
6	Усиленный	Вдоль левой	70°

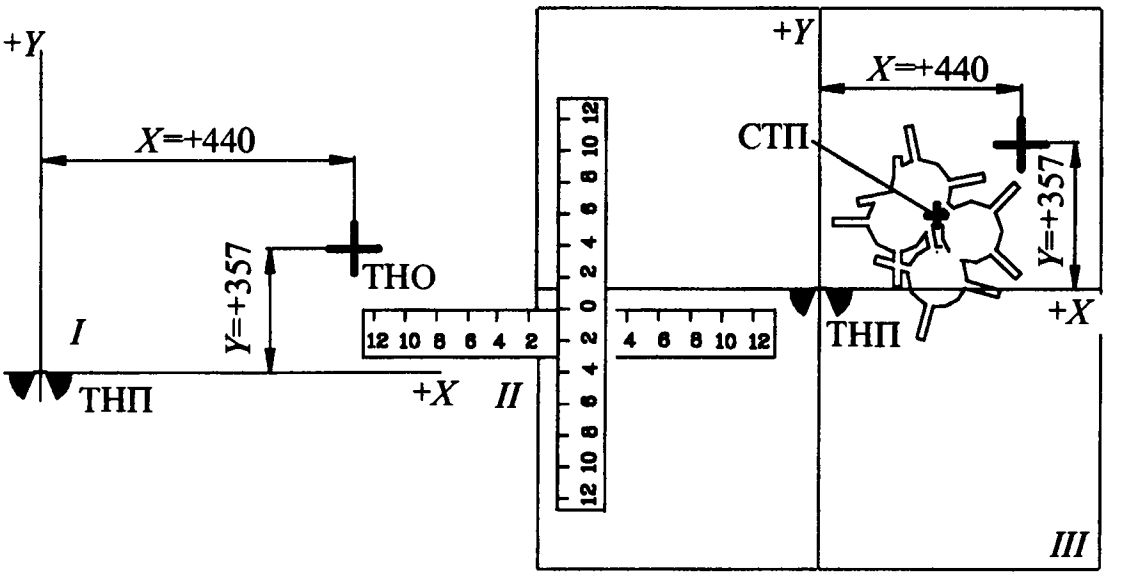


Рис. 3.11. Методика определения средней точки попадания при стрельбе из танковой 115 мм гладкоствольной пушки четырьмя оперенными снарядами при дистанции в 100 м:
I – размещение на картонном щите точки наводки прицела (ТНП) и точки наводки орудия (ТНО); *II* – линейка; *III* – картонный щит-мишень

3.2. Типы снарядов при испытании стрельбой

Номер выстрела	Тип снаряда	Тип заряда	Угол возвышения	Вид спуска
1	Осколочно-фугасный	Уменьшенный	0...16°	Электромагнитный
1	Осколочно-фугасный	Нормальный	16°	Электромагнитный
2	Бронебойно-подкалиберный	Усиленный	0...2°	Гальванический
3	Осколочно-фугасный	Усиленный	16°	Ручной
4	Осколочно-фугасный	Усиленный	16°	Ручной

Примечание. При температуре окружающей среды 5 °С.

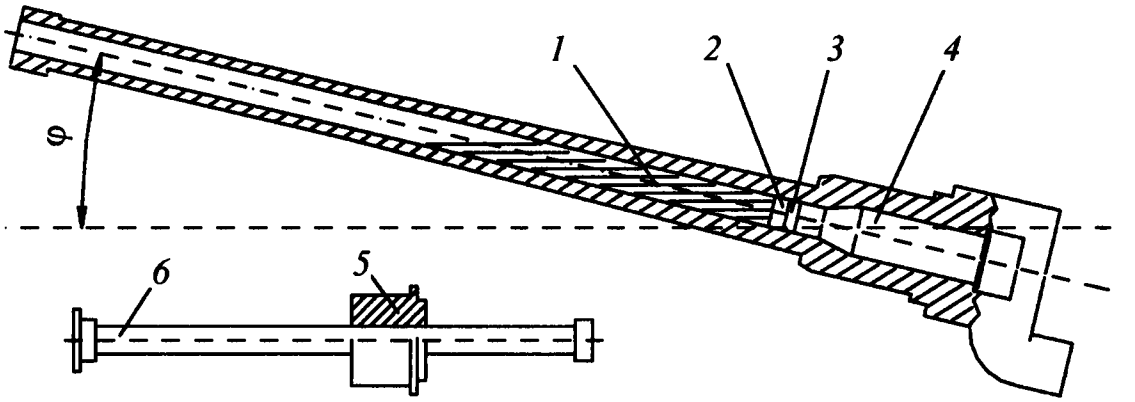


Рис. 3.12. Схема производства гидровыстрела:
1 – вода; *2* – деревянный пыж; *3* – резиновый обтюратор; *4* – заряд; *5* – направляющая втулка досыльника; *6* – досыльник

Из табл. 3.1 видно, что испытывается изделие на минимальном и максимальном углах возвышения ствола, а также при направлении нагрузки от выстрела на каждую станину. Для заводских полигонов директриса полета снаряда при максимальных углах должна быть несколько десятков километров, что в большинстве случаев представляется нереальным. Поэтому, при малых углах – стрельба ведется холостыми осколочно-фугасными снарядами в земляной вал или в снарядоуловитель, а при больших углах – используют так называемый гидровыстрел, когда снаряд заменяется определенной массой воды, равноценно действующей на механизмы и детали изделия. Схема выполнения гидровыстрела показана на рис. 3.12.

Подготовка к производству гидровыстрела заключается в том, что в малый конус зарядной каморы в горизонтальном положении ствола загоняется досыльником *6* деревянный пыж *2*, резиновый обтюратор *3* и заряд *4* (направляющая втулка досыльника *5* базируется в зарядной каморе). Затем стволу придается угол возвышения 10...15°, и в ствол заливается вода *1*, после чего придается необходимый угол φ возвышения.

После каждого выстрела при проведении ПСИ определяется длина отката, четкость работы автоматики, других механизмов, целостность узлов, несбиваемость показаний прицела, а после всей серии выстрелов – надежность работы сальниковых устройств противооткатов по количеству вынесенной на штоках жидкости.

Гораздо более широкая программа принадлежит периодическим испытаниям.

ПИ проводятся чаще всего раз в полгода (но иногда раз в месяц, квартал, год).

ПИ выявляют стабильность работы предприятия-изготовителя по всем параметрам: металлургии, механической обработки, сборки.

Из уже принятых и оплаченных изделий, представитель заказчика, по своему усмотрению, выбирает изделие для ПИ.

Отобранное для ПИ изделие разбирается, большинство ответственных деталей раскернивается по разработанным в ТУ схемам, керновые точки заливаются краской, отличной от штатной (чаще всего – красной), расстояние между ними замеряется с точностью 0,1 мм и результаты записываются в протокол. Разборка и сборка изделий при ПИ производится штатными инструментами и приспособлениями, которые имеются в ЗИПе.

После этого, изделие собирается и уходит на испытания, объем которых оговорен в ТУ.

ПИ, так же, как и ПСИ, обязательно включают и стрельбу, и возку. Объемы этих проверок существенно большие, чем у приемосдаточных испытаний. Например, стрельба проводится с числом выстрелов, составляющих порядка половины живучести ствола (для полевых – примерно 500, для танковых – 200). Причем, безусловно, не все количество выстрелов производится единовременно. Стрельба происходит сериями, которые перемежаются проверками состояния изделия в целом и отдельных его узлов, а также возкой. Стрельба проводится на всех типах зарядов: уменьшенных, полных, усиленных при различных углах подъема ствола и положения ствола относительно станин. В отдельной серии выстрелов определяются баллистические характеристики и величины рассеивания снарядов при стрельбе по щиту. В группах выстрелов задается определенный темп стрельбы и перерывы между группами.

Испытания возкой проходят при транспортировании штатным тягачом, на дорогах с различным покрытием и на разных скоростях. Расстояния возки изделий составляют 1000...3000 км, и возка, как и стрельба, ведется на разных режимах и на различных покрытиях дорог.

По дорогам с твердым покрытием транспортировка изделий проходит со скоростями до 80 км/час, и доля этого пробега порядка 10% от общего километража.

Остальные этапы возки проводятся на дорогах с булыжным покрытием, по грейдерам, по бездорожью. Эти испытания ведутся, естественно, на более низких скоростях движения и их километраж оговаривается в программе ПИ.

Периодически проверяются работа тормозов, ступиц колес, включения и выключения подрессоривания и перевод из походного в боевое положение, крепления изделия по-походному.

Примерно через 500 км пробега производятся осмотр всех механизмов изделия, замер давления в накатнике, количество утечки тормозной жидкости в сальниках противооткатов.

Некоторые этапы ПИ, например, работа досылателя, надежности экстракции гильзы, могут проводиться в сборочном цехе завода-изготовителя.

После ПИ изделие разбирается в сборочном цехе завода-изготовителя и раскерненные детали обмеряются на предмет обнаружения их деформаций. Остальные детали также обмеряются для выявления их износа.

Результаты заносятся в протоколы испытаний. Во всех испытаниях и проверках принимают участие не только работники завода, но и представители заказчика.

По результатам испытаний вносятся коррективы в правильность ведения технологических процессов термообработки, покрытий, механической обработки, упрочняющей технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Арефьев М.Г., Карпов Л.И.** Производство стволов стрелкового оружия / НКАП. М.: Оборонгиз, 1945.

2. **Уткин Н.Ф., Кижняев Ю.И. и др.** Обработка глубоких отверстий. Под общ. ред. Н.Ф. Уткина. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд., 1988. 269 с.

3. **Справочник технолога-машиностроителя:** В 2-х томах / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2003. 496 с.

4. **Крекнин Л.Т.** Производство автоматического оружия: Ч. 1–3. Ижевск, 2001.

5. **Мещеряков Р.К., Ушаков А.И.** Анализ точности обработки глубоких отверстий // Известия вузов. 1970. № 10. С. 173–178.

6. **Мещеряков Р.К., Ушаков А.И.** К расчету точности обработки глубоких отверстий // Известия вузов. 1971. № 2. С. 189–194.

7. **Новиков М.П.** Основы технологии сборки машин и механизмов. М.: Машиностроение, 1980. 592 с.

8. **Подураев В.Н.** Производство артиллерийских систем: Учеб. пособие. М.: ЦНИИинформации, 1981. 544 с.

9. **Туктанов А.Г., Гучин Е.В.** Сборка машин. М.: Изд-во МГТУ, 1989.

10. **Туктанов А.Г., Литвин Н.К.** Технология производства ствольных труб. М.: Изд-во МГТУ, 1993.

11. **Технологии и средства** контроля для изготовления длинномерных высокоточных цилиндров: Проспект НПП «Пика». Пермь: ИПК «Звезда», 1989.

12. **Технология производства** артиллерийских систем. Узловая и общая сборка: Учеб. пособие / А.П. Мордвин. Перм. гос. техн. ун-т. Пермь, 1995. 96 с.

13. **Технология производства** стрелково-пушечного, артиллерийского и ракетного оружия: Учеб. пособие / В.Я. Савицкий, О.В. Фомин, С.А. Квитка. Пенза: ПАИИ, 2004. 290 с.

14. **Черничкин С.А.** Кольцевое сверление и обработка глубоких отверстий. М.: Машиностроение, 1964. 239 с.

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Туктанов Алексей Григорьевич

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРЕЛКОВО-ПУШЕЧНОГО И АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ОРУЖИЯ

Редактор *А.Г. Ганженко*
Художественный редактор *Т.Н. Галицына*
Корректор *М.Я. Барская*
Инженер по компьютерному
макетированию *Н.И. Смольянина*

Сдано в набор 13.05.2006. Подписано в печать 29.12.2006. Формат 60 × 88 $^{1}/_{16}$.
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать офсетная.
Усл. печ. 23,03. Уч. изд. л. 21,46.
Тираж 1000 экз. Заказ № 155

Ордена Трудового Красного Знамени ОАО "Издательство "Машиностроение",
107076, Москва, Стромынский пер., 4

Оригинал-макет изготовлен в ООО "Издательство "Машиностроение-1"

Отпечатано в ГУП ППП "Типография "Наука" РАН
121099, г. Москва, Шубинский пер., 6